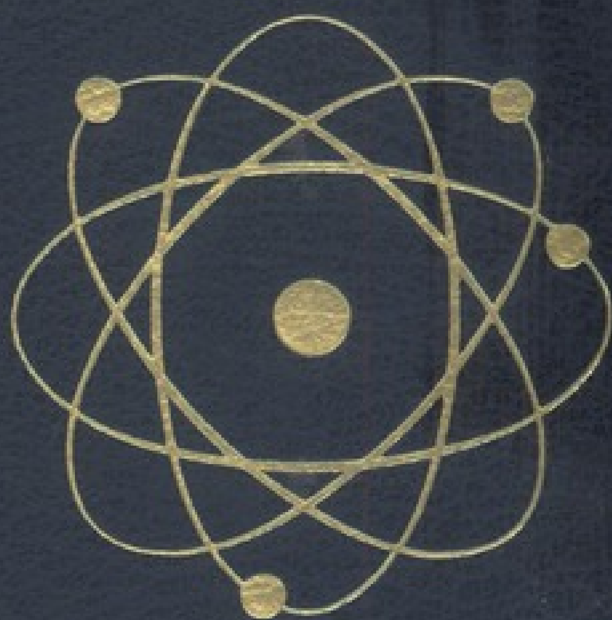
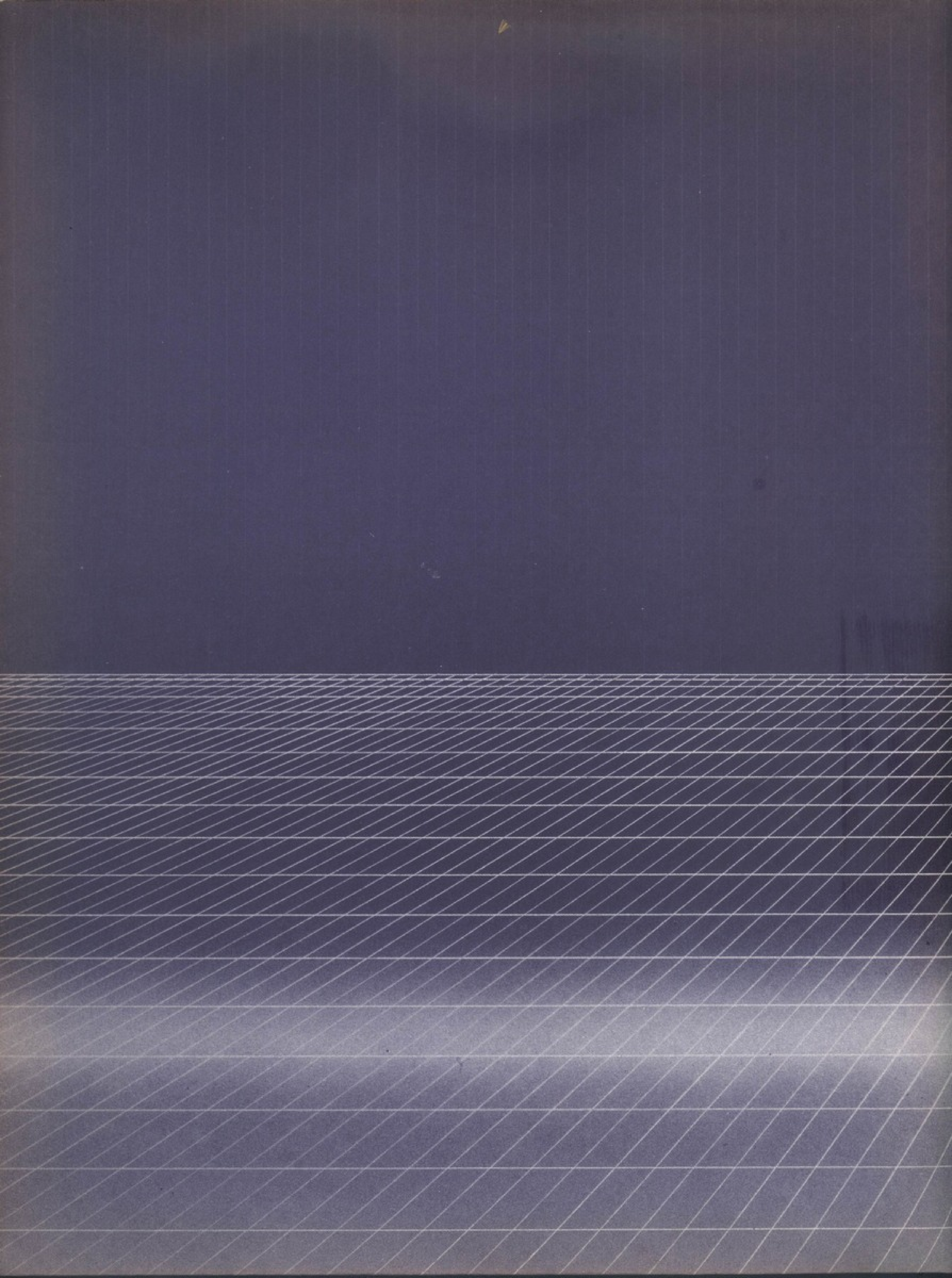
Ciencia y Técnica

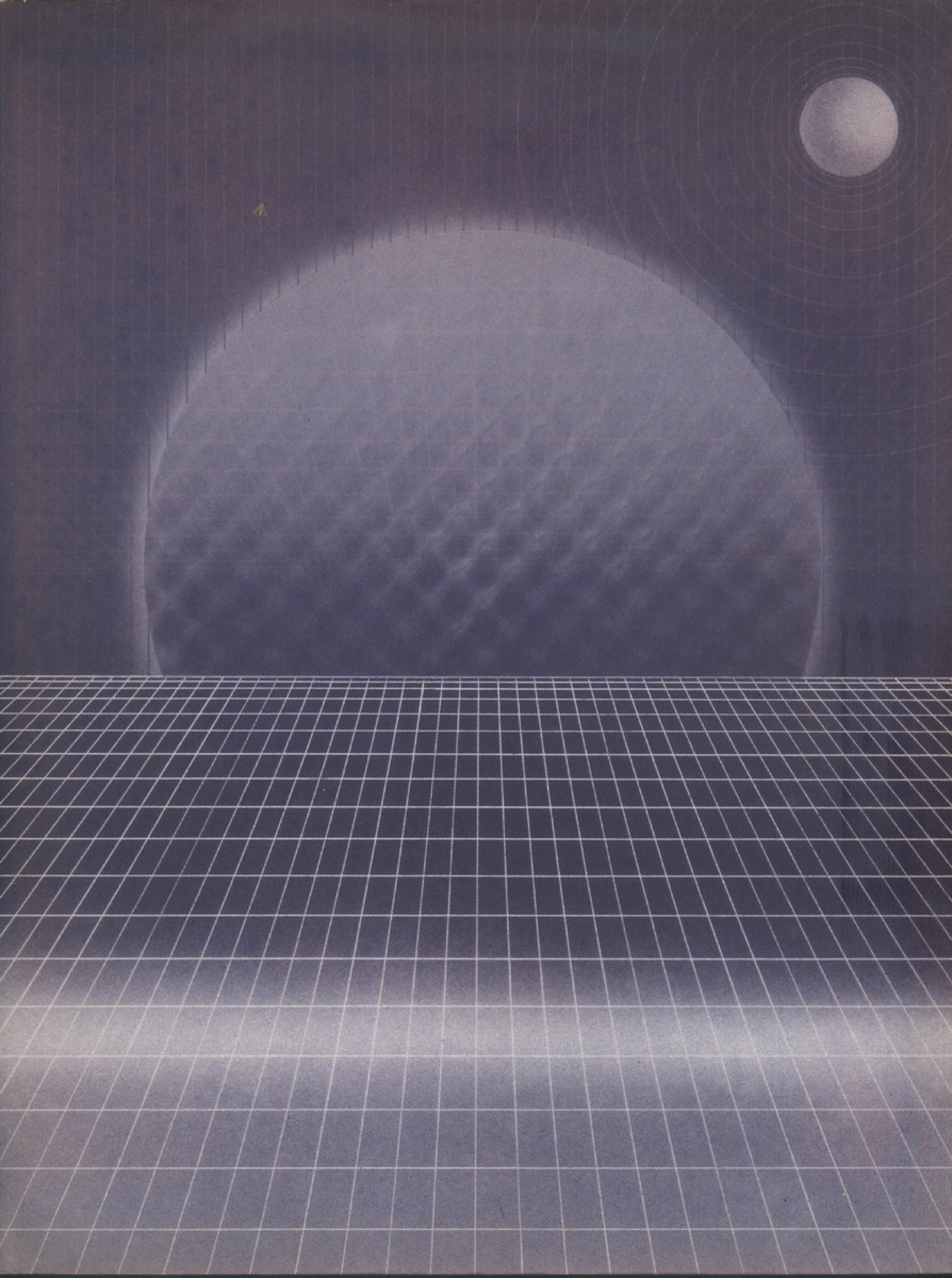
10

MOTOR
PELO

SALVAT



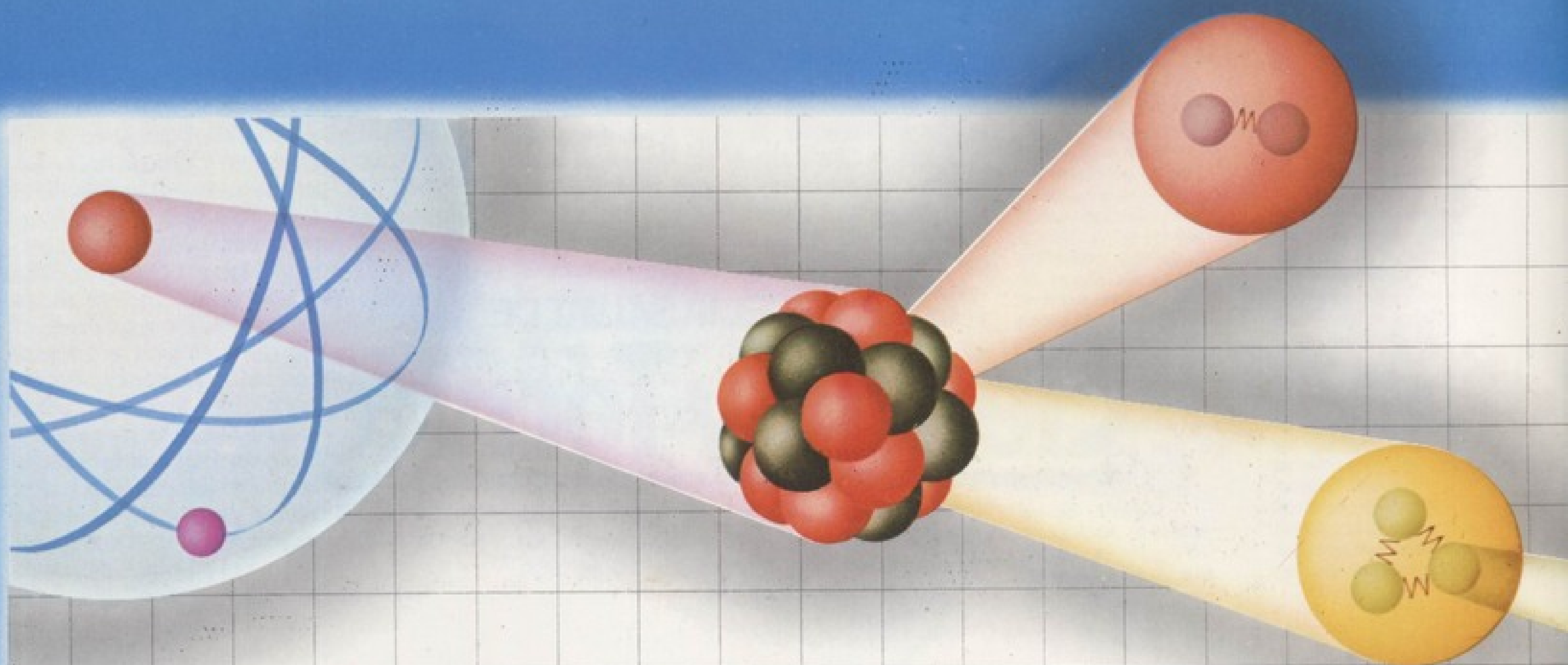






ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica





Publicado por
SALVAT EDITORES, S.A.
Mallorca, 47 - 08029 Barcelona, España

Impresión:
Gráficas Estella, S.A.
Estella, Navarra, 1987
Depósito Legal: NA. 125-1984
ISBN 84-345-4490-3 (Obra completa)
ISBN 84-345-4500-4 (Volumen 10)
Printed in Spain

ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



Director
Juan Salvat

Director de la obra:
Jesús Campos

Secretaría de redacción
Concepción Camarero

Director artístico
Francesc Espluga

Redacción
María Teresa M. Faraldo

Producción
Leonor Murillo

Prólogo
Pedro Laín Entralgo,
Presidente de la Real Academia Española de la Lengua



Redacción Edición Internacional

Christian Angermann — Donald Antrim — Timothy Bay — Trudy Bell — Shelley Berc — David Black — Diane Blanchard — Bonnie Borenstein — Judith Brister — Jean Brody — Serena Cha — Robert Crease — Peter Cunningham — Dr. Rhodes Fairbridge — Marguerite Feitlwitz — Corinna Gardner — Barbara George — Ellen Goldensohn — Jean Grasso — Fitz Patrick — Peter Gyallay-Pap — Steve Hall — James Harris — Doug Henwood — David Herndon — Paul Hoeffel — Andrea Kantor — Jonathan Katz — Jim Keegan — Philippa Keil — Percy Knauth — Bary Koffler — Barbara Kopit — Paulette Licitra — Becky London — Deborah Lumpee — Charles Mann — Robert MacVicar — Dale McAdoo — Fred Nadis — Joy Nager — Peter Oberlink — Robert Salter — Sandra Sharp — George Shea — Howard Smith — Zev Trachtenberg — Vieri Tucci — Edit Emili Villareal — Veronica Visser — Graham Yost — Sasha Zeif

Colaboradores científicos de este volumen edición española:

Manuel Abejón, *Universidad Politécnica de Madrid*
Alberto Brito, *Universidad de La Laguna*
Javier Cacho, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Mercedes Campos, *Universidad de La Laguna*
César Casquet, *Universidad Complutense*
Víctor Casquet, *Licenciado en Astrofísica*
Juan José Díez, *Universidad Complutense*
Sebastián Dormido, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
Isabel Espinel, *Licenciada en Ciencias Biológicas*
Manuel Gil, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Ildefonso Irún, *Licenciado en Ciencias Físicas*
José M. López Piñero, *Universidad de Valencia*
Pedro L. Martín, *Ingeniero de Caminos*
Juan Ramón Medina, *Universidad de Sevilla*
Ignacio Meléndez, *Universidad Complutense*
M.ª Rosa Miracle, *Universidad de Valencia*
Francisco Montero de Espinosa, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
Germiniano Ontañón, *Licenciado en Ciencias Químicas*
Gerardo Pastor, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
Germán Rodríguez Corral, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
M.ª Jesús Sáinz de Aja, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Magna Santos, *Instituto «Daza de Valdés» del C.S.I.C.*
Pedro T. Sanz, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*

Consejo de Redacción

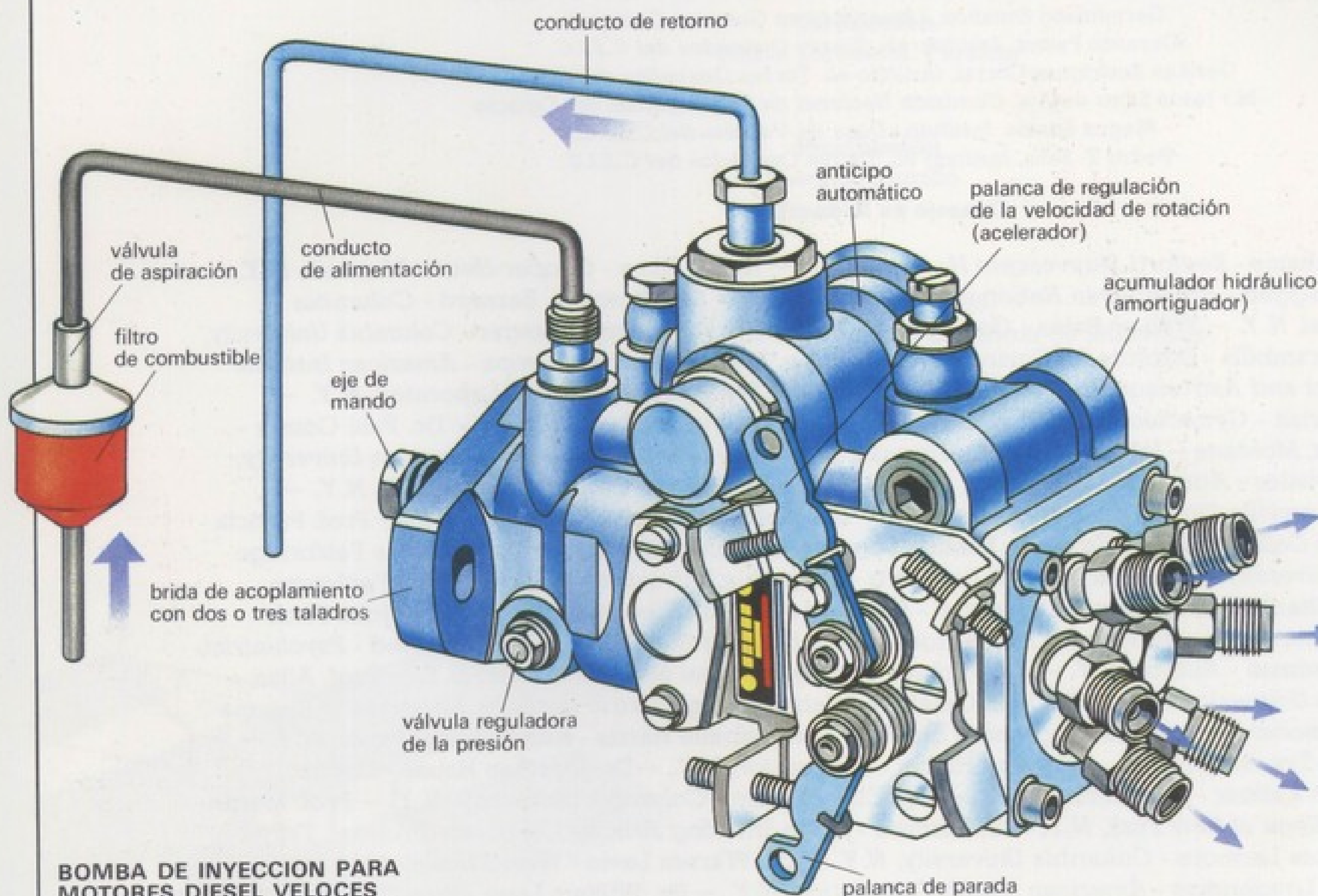
Motor Diesel

En el año 1893 el ingeniero alemán Rudolf Diesel publicó un trabajo titulado *Teoría y construcción de un motor térmico racional*. Diesel (1858-1913) había profundizado en los principios de la Termodinámica, una ciencia recién nacida que se desarrollaba vertiginosamente. Mediante la Termodinámica se intentaba llegar a comprender las relaciones existentes entre el calor y el trabajo con el fin de aplicarlas luego en la construcción de convertidores de energía más eficaces. Las investigaciones de Diesel están consideradas como una piedra angular en el desarrollo de la Termodinámica.

El objeto de la publicación era conseguir los suficientes apoyos financieros que permitiesen costear las instalaciones necesarias para realizar su proyecto. Diesel estaba convencido de poder proyectar una máquina que funcionara según los principios expresados medio siglo antes por uno de los pioneros de la Termodinámica, el francés Nicolas Léonard Sadi Carnot. El calificativo de "racional", con que Diesel designó su proyecto, tenía una precisa razón de ser, ya que se trataba de construir un nuevo motor siguiendo principios rigurosamente científicos. La idea de Diesel puede calificarse como genial si consideramos que, en aquellos tiempos, las máquinas de vapor mejor diseñadas y construidas obtenían un rendimiento inferior al 7%, es decir; lograban transformar en trabajo sólo el 7% de la energía suministrada para hacerlas funcionar. Los cálculos teóricos permitían a Diesel prever un rendimiento mucho más alto, del 73%, pero, como se verá más adelante, el rendimiento térmico del motor Diesel, aun siendo superior al del motor de ciclo Otto, no pudo superar el 40 por ciento.

El motor de Otto El motor de combustión interna fue ampliamente desarrollado por el ingeniero alemán Nikolaus Otto, nacido 25 años antes que Diesel. En el motor de Otto, precursor del actual motor de gasolina, una mezcla de gasolina y aire es aspirada al interior de una cámara llamada *cilindro* (por lo general los motores de Otto disponían de uno o más pares de cilindros). En el interior de éstos la mezcla es comprimida por el desplazamiento de un brazo metálico, el *émbolo*, perfectamente ajustado al cilindro y dotado de un movimiento alternativo. La mezcla, una vez comprimida, es encendida por una chispa eléctrica que se induce entre los polos de una bujía. La expansión producida por la explosión de los gases empuja hacia abajo el émbolo; en su parte posterior, el émbolo se encuentra articulado a una pieza mecánica, llamada *biela*, que transmite el movimiento al cigüeñal del motor. De esta forma, el movimiento rectilíneo original del émbolo se transforma en movimiento rotativo en el cigüeñal.

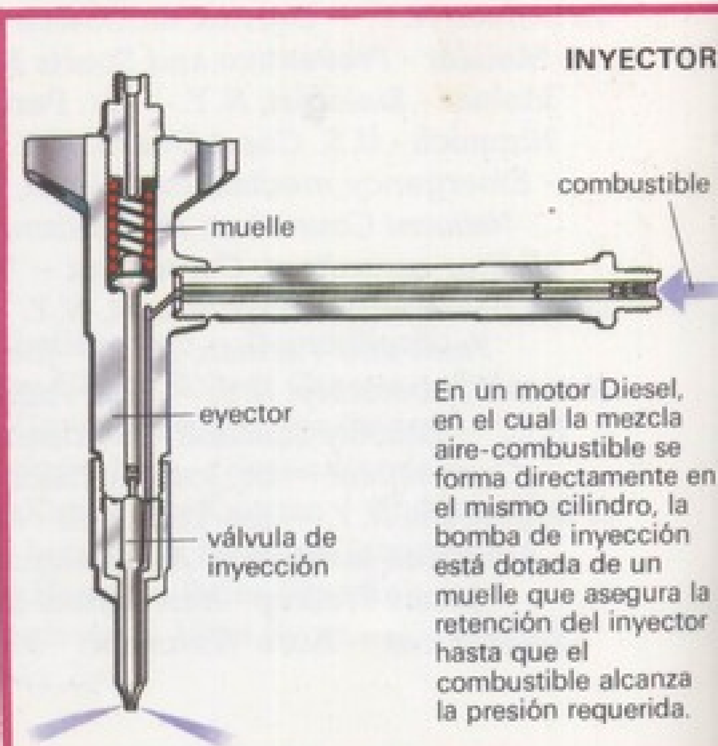
Relación de compresión La teoría de Diesel se basaba en dos consideraciones fundamentales. La primera consistía en el hecho de que cuanto más se comprimía una determinada cantidad de gas, más aumentaba su temperatura, y, de manera análoga, cuanto más se expandía dicha cantidad de gas, más disminuía aquélla. En el interior del cilindro, por ejemplo, la temperatura de la mezcla es muy alta cuando, comprimida por el émbolo en su carrera ascendente, alcanza su mínimo volumen; por el contrario, la mezcla se enfría cuando el gas alcanza su máximo volumen, es decir, al finalizar la carrera descendente del émbolo. La segunda consideración de Diesel se basaba en la hipótesis de que cuanto mayor fuese la diferencia entre las dos temperaturas del gas y, por consiguiente, entre los dos volúmenes, antes y después de la compresión, tanto mejor funcionaría el motor, es decir, mayor sería la cantidad de trabajo obtenido al suministrar una determinada cantidad de ener-



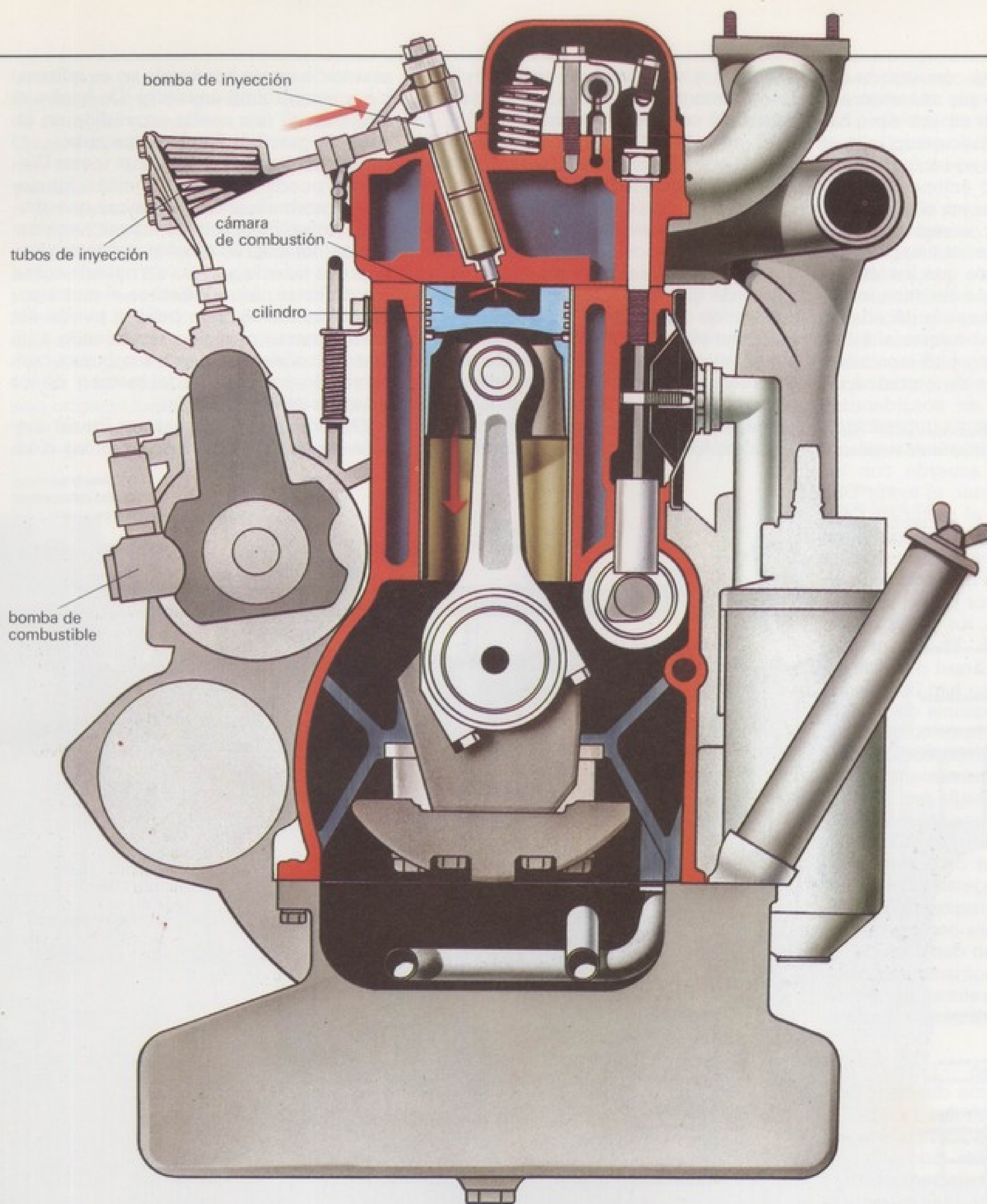
BOMBA DE INYECCION PARA MOTORES DIESEL VELOCES

Para aspirar el carburante del depósito de combustible y enviarlo a presión a los inyectores se emplea una bomba de alimentación. En el dibujo vemos una bomba de alimentación para motores Diesel veloces, en donde el combustible que llega del depósito es enviado a presión a un distribuidor rotativo, del cual salen los cabezales que conducen el gasoil a cada uno de los inyectores. Tanto en la bomba como en los inyectores existen unos dispositivos que devuelven el combustible sobrante al depósito mediante una tubería especial.

INYECTOR



En un motor Diesel, en el cual la mezcla aire-combustible se forma directamente en el mismo cilindro, la bomba de inyección está dotada de un muelle que asegura la retención del inyector hasta que el combustible alcanza la presión requerida.



MOTOR DIESEL DE INYECCION DIRECTA

Los motores Diesel están diseñados para funcionar según ciclos de cuatro o de dos tiempos, exactamente igual que un motor de gasolina. Pero más que atendiendo al número de tiempos de cada ciclo, los motores Diesel se clasifican en función del sistema de envío de la mezcla aire-combustible al interior de la cámara del cilindro. Así, existen los *motores de inyección directa*, en los cuales la mezcla aire-combustible se forma en la cámara del émbolo, y *motores de precámara*, en los cuales la mezcla se forma en una cámara especial dispuesta generalmente en la culata. En la figura vemos un motor de inyección directa en el cual el combustible es inyectado directamente —mediante varios pulverizadores— en la cámara de combustión, en donde se mezcla instantánea y homogéneamente con el aire a fin de permitir una combustión completa y rápida.

gía. La relación entre los dos volúmenes de gas en el cilindro, antes y después de la compresión, se llama *relación de compresión*, y es un índice que mide la eficacia del motor. Sin embargo, existe una limitación en el intento de aumentar la relación de compresión de un motor de Otto. Si la mezcla aire-carburante fuera comprimida por encima de un determinado límite, la temperatura sería mayor que la de ignición de la gasolina. Esto provocaría el preencendido de la mezcla y podría dar lugar a un "picado de bielas" e incluso a una parada inmediata del motor.

La idea racional La idea racional de Diesel consistía en aumentar la eficacia del motor de combustión interna de Otto, aumentando su relación de compresión. Pensaba construir un motor que pudiera comprimir el aire hasta una dieciseisava parte de su volumen original: en este estado el aire alcanzaría una temperatura de alrededor de 538 °C. Entonces se inyectaría directamente en el cilindro el carburante, que, debido a la alta temperatura, prendería espontáneamente. Podrían utilizarse así carburantes no inflamables a temperatura ambiente y, por lo tanto, más seguros. Los primeros modelos de motor Diesel quemaban polvo de carbón; los modernos utilizan gasóleo. Los motores Diesel carecían de la característica instalación de *encendido eléctrico* o por *chispa*, presente en todos los motores de Otto; sin embargo, el mismo Diesel sostenía que este dispositivo era accesorio al principio fundamental que regía el funcionamiento de su motor. El punto clave para un buen funcionamiento del motor de *encendido por compresión* reside en la instalación del mecanismo de inyección del carburante. El mismo inyector debe ser construido con una precisión superior a la de un reloj y con tolerancias del orden de pocas milésimas de milímetro. Existe el inconveniente de que un motor Diesel no arranca tan rápidamente como un motor de gasolina. Es necesaria la presencia de un dispositivo llamado *bujía de incandescencia*, que se enciende póco antes de poner en marcha el motor, y cuya finalidad es calentar el aire en el interior de los cilindros. Después de su arranque, el motor funcionará irregularmente durante unos minutos, hasta calentarse suficientemente.

Desarrollo del motor Diesel Diesel encontró relativamente pronto los apoyos financieros necesarios para desarrollar su

proyecto. Sin embargo, la contrucción del "motor racional" resultó ser una empresa más ardua de lo que en un principio había imaginado. El primer ejemplar que construyó explotó, poniendo en peligro su propia vida. Se constató entonces que el coste tendría que ser mayor si se deseaba obtener una mayor compresión; los motores Diesel debían tener una constitución más fuerte y pesada que los de gasolina, ya que tenían que resistir un mayor esfuerzo. Así, al iniciarse la década de 1910, los motores Diesel habían sido ya bastante perfeccionados y pudieron instalarse sobre ciertos tipos de embarcaciones. Pronto llegaron a ser considerados como una fuente de energía imprescindible en numerosas máquinas industriales y barcos mercantes. De acuerdo con las previsiones de su inventor, el motor Diesel funcionó mejor que el motor de Otto. Mientras que éste obtenía un rendimiento térmico (porcentaje de energía calorífica transformada en trabajo mecánico) de alrededor del 30%, el motor Diesel alcanzaba casi el 40%. Además, los gases de escape eran más limpios. En los últimos años, algunos motores Diesel de alto rendimiento y de poco peso han llegado incluso a desafiar la hegemonía de los motores de gasolina en campos como el del automóvil y el de las embarcaciones de recreo. Los últimos descubrimientos científicos y la nueva tecnología han afianzado el futuro de los motores Diesel. La posibilidad de que estos motores puedan ser alimentados por nuevos carburantes extraídos de especies vegetales (biomasa) y los progresos en la composición y producción de los materiales cerámicos, que aseguran ligereza y gran duración de los motores, a la vez que aumentan su resistencia a las altas temperaturas, permitirán mejorar aún más el rendimiento termodinámico de éstos.

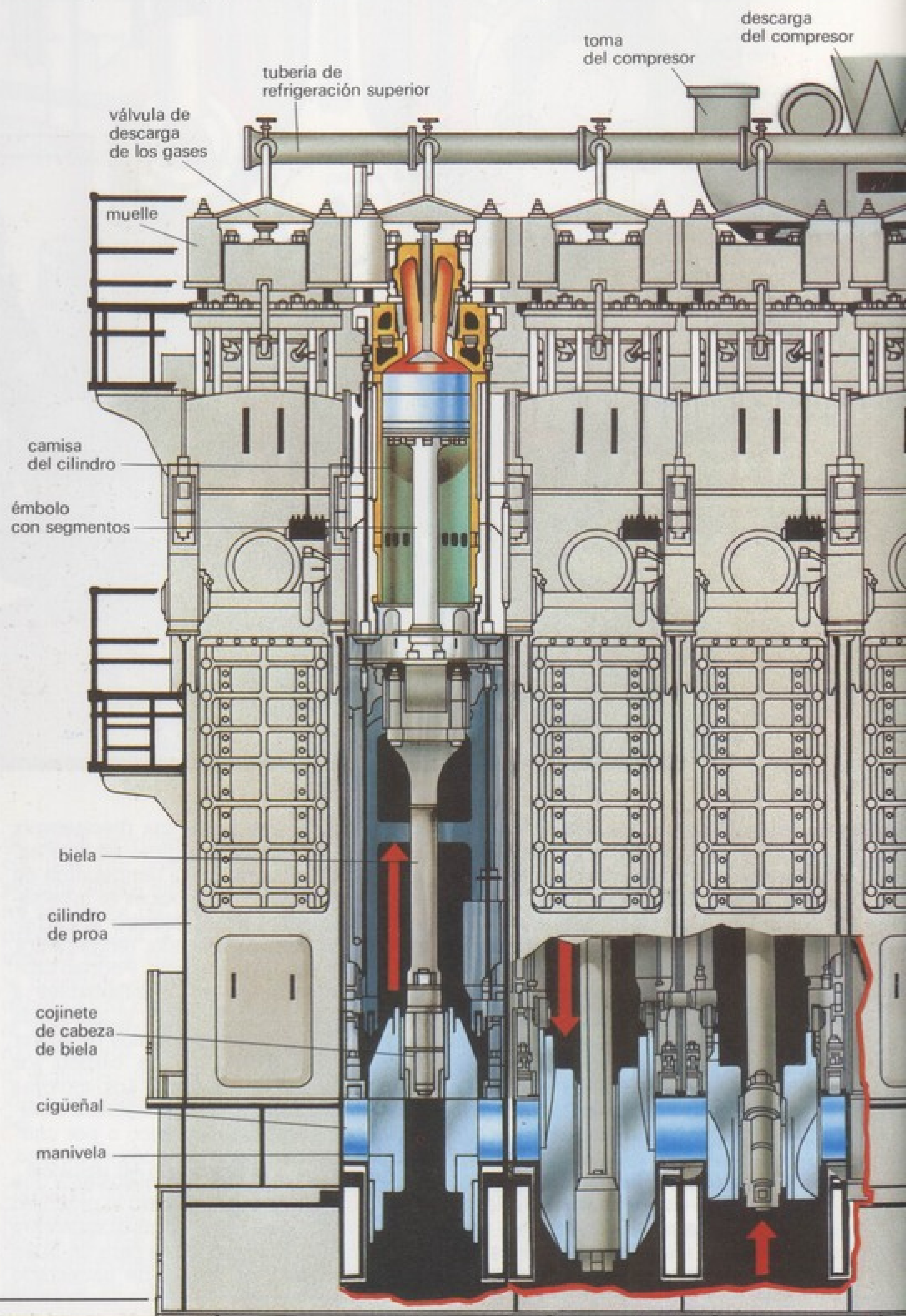
El motor Diesel marino El único motor Diesel verdaderamente diseñado para la navegación es el motor fueraborda. Todos los demás tipos de motores usados en las embarcaciones habían sido anteriormente proyectados para el uso terrestre y adaptados seguidamente a las características del barco. Para obtener un resultado satisfactorio es necesario aportar muchas modificaciones: el motor tiene que ser enfriado y lubricado de una forma distinta, debiéndose evitar además las pérdidas. De todas maneras, una vez introducidas estas modificaciones, el motor Diesel resulta ser un grupo propulsor económico, fiable y seguro para las embarcaciones, aunque pesado y de gran tamaño.

Ventajas y desventajas Aunque el cigüeñal de un motor Diesel gira a un menor número de revoluciones por minuto que un motor de gasolina, la eficacia del motor Diesel es superior. Esto quiere decir que una embarcación puede recorrer un trayecto mayor con la misma cantidad de combustible. Por consiguiente, una embarcación dotada de motor Diesel resulta más económica en cuanto a su funcionamiento y, a valocidad de crucero, posee una autonomía superior a la de una embarcación con motor de gasolina.

El motor Diesel es, además, mucho más seguro que el motor de Otto, ya que tanto la gasolina como los vapores de este último son explosivos. Esto hace que el motor de gasolina sea muy peligroso en los estrechos espacios disponibles en un barco: en efecto, una pequeña cantidad de vapor de gasolina que alcance una concentración del 1,25% en el aire puede explosionar por una simple chispa o una llama. Media taza de gasolina puede producir la suficiente cantidad de vapores como para destruir una gran lancha motora. Sin embargo, el carburante del motor Diesel no es explosivo ni bajo forma líquida ni en estado de vapor, y además no es inflamable a temperatura ambiente. De hecho, si arrojásemos una cerilla encendida en un cubo de gasoil, la llama se apagaría.

Esto no quiere decir que un motor Diesel no pueda incendiarse jamás: funcionando normalmente, es natural que muchas partes de la sala de máquinas se calienten considerablemente; evidentemente, si una tubería goteara carburante sobre una de estas partes calientes, el motor podría incendiarse. Este peligro puede ser notablemente reducido recurriendo a un oportuno aislamiento y a una buena conservación y vigilancia del motor y de los sistemas de alimentación.

Otra ventaja de los motores Diesel consiste en que no necesitan sistemas eléc-



tricos para el encendido, como sucede con los motores de gasolina, que a menudo se mojan y funcionan mal. Los motores Diesel son, además, más resistentes y tienen mayor duración que los motores de gasolina.

Sin embargo, por diversas razones, los motores Diesel no han sustituido completamente a los motores de Otto en las embarcaciones. Es evidente que, aunque sean más económicos en su funcionamiento, su construcción es notablemente más cara, además de resultar más pesados y ocupar un mayor espacio. Las tensiones derivadas de la enorme compresión originan fuerzas mucho más violentas que las de los motores de gasolina. Esto da lugar a que las sujeciones del motor, los niveles de agua y carburante y las juntas del eje de la hélice, al estar sujetos a mayores vibraciones, deban ser fijados de una forma más segura.

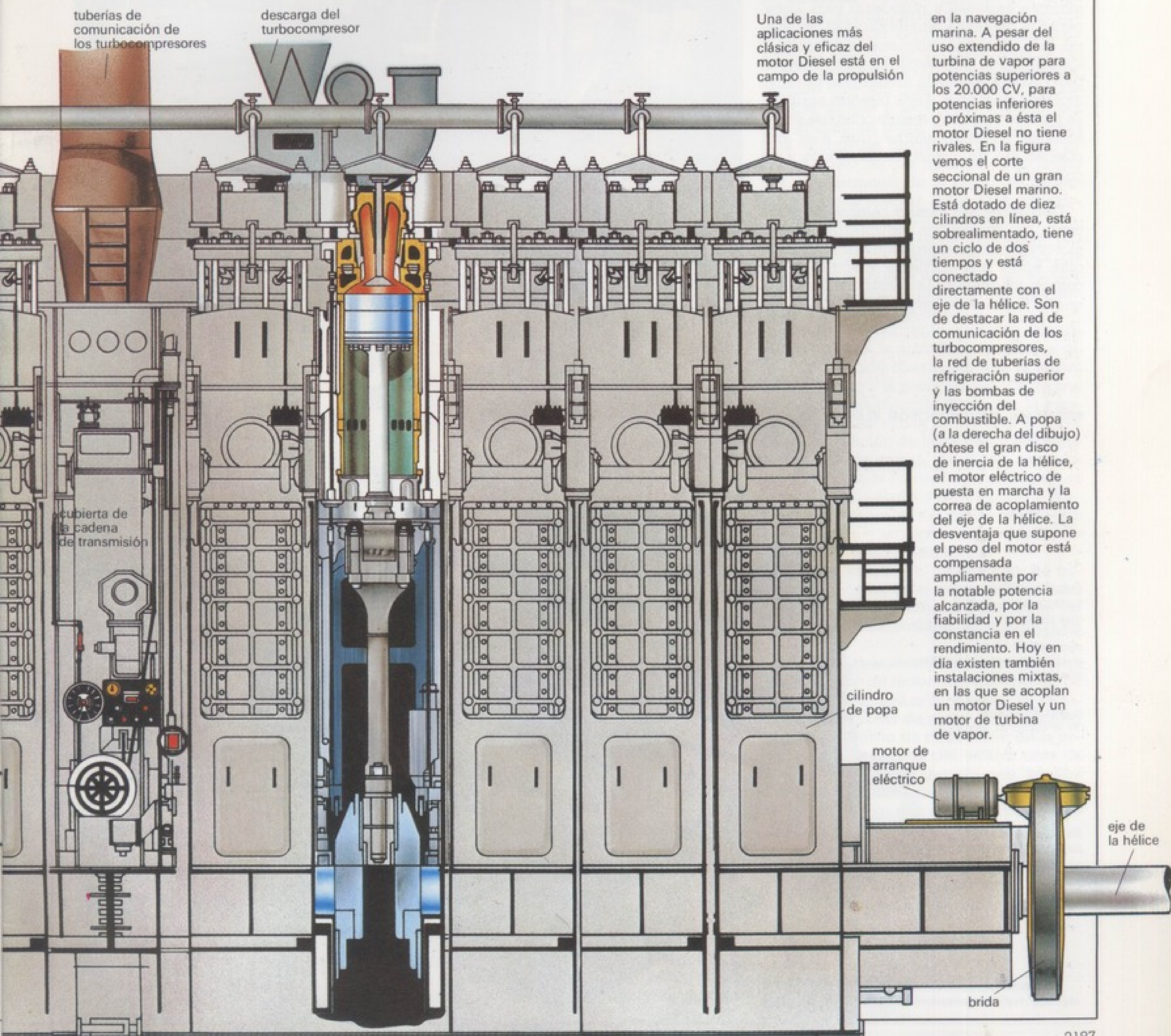
Otra desventaja de los motores Diesel es su bajo número de revoluciones por minuto, de forma que raramente se emplean en los casos en los que es importante la velocidad.

Los primeros motores Diesel marinos eran lentos, pesados y aptos sólo para naves comerciales con cargas de trabajo constantes. Durante la I Guerra Mundial los motores Diesel demostraron su valía en los submarinos, en los cuales las exhalaciones no tóxicas de su carburante constituyeron una importante ventaja debido al espacio restringido de que se disponía.

Las mejoras aportadas recientemente han reducido el peso y aumentado el número de revoluciones del motor Diesel, hasta el punto de que algunos han sido utilizados incluso en embarcaciones de competición.

Aunque la mayoría de las embarcaciones de recreo se sirva todavía de motores de gasolina, es probable que futuras modificaciones consigan que los motores Diesel sean menos pesados y más eficaces, de forma que aumente su popularidad y uso en otros campos, además del tradicional de la propulsión de barcos de pequeño y medio tonelaje.

Véase **Motor de combustión interna; Motor de Otto; Motor fueraborda**



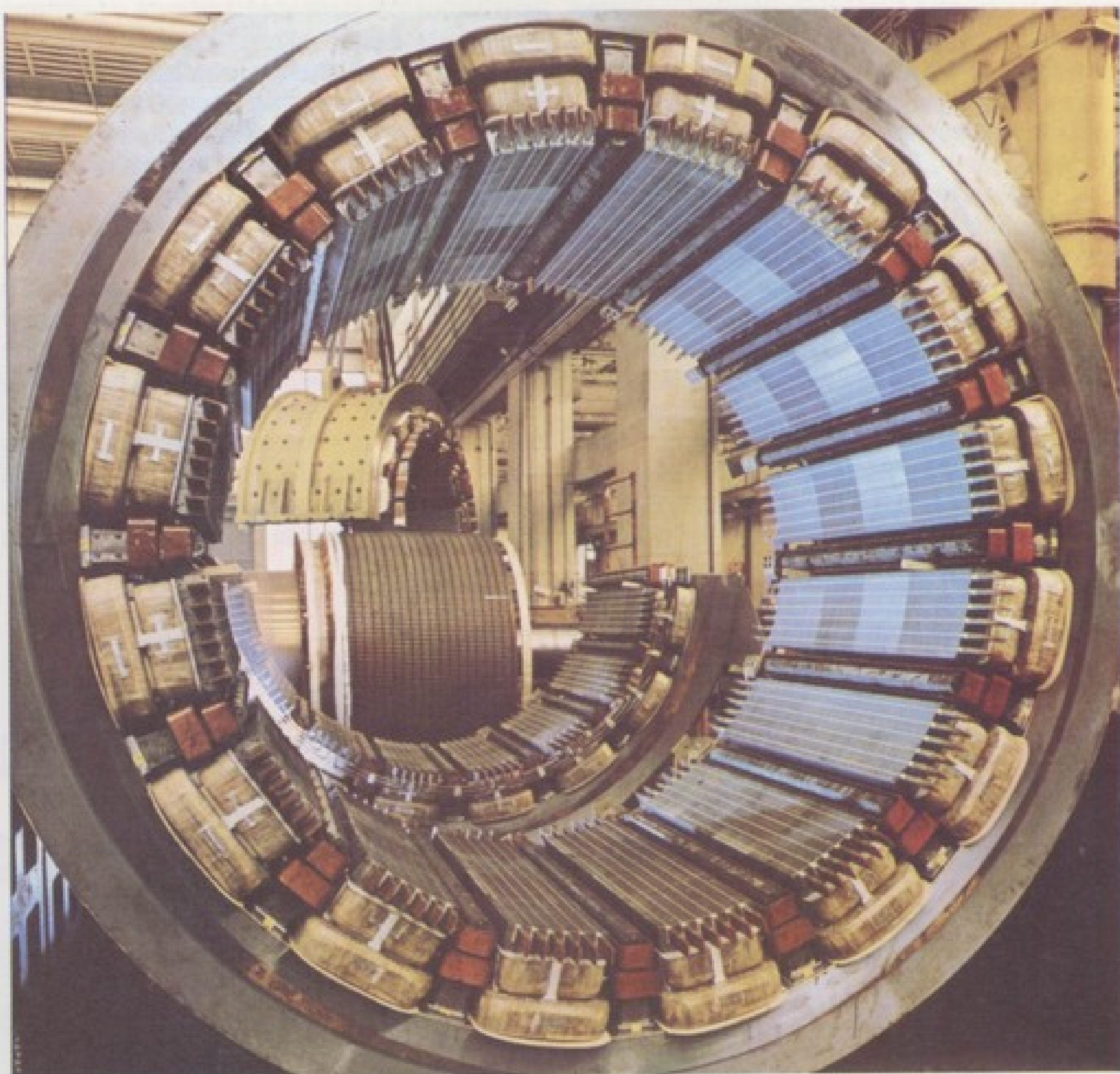
Una de las aplicaciones más clásica y eficaz del motor Diesel está en el campo de la propulsión en la navegación marina. A pesar del uso extendido de la turbina de vapor para potencias superiores a los 20.000 CV, para potencias inferiores o próximas a ésta el motor Diesel no tiene rivales. En la figura vemos el corte seccional de un gran motor Diesel marino. Está dotado de diez cilindros en línea, está sobrealimentado, tiene un ciclo de dos tiempos y está conectado directamente con el eje de la hélice. Son de destacar la red de comunicación de los turbocompresores, la red de tuberías de refrigeración superior y las bombas de inyección del combustible. A popa (a la derecha del dibujo) nótese el gran disco de inercia de la hélice, el motor eléctrico de puesta en marcha y la correa de acoplamiento del eje de la hélice. La desventaja que supone el peso del motor está compensada ampliamente por la notable potencia alcanzada, por la fiabilidad y por la constancia en el rendimiento. Hoy en día existen también instalaciones mixtas, en las que se acoplan un motor Diesel y un motor de turbina de vapor.

Motor eléctrico

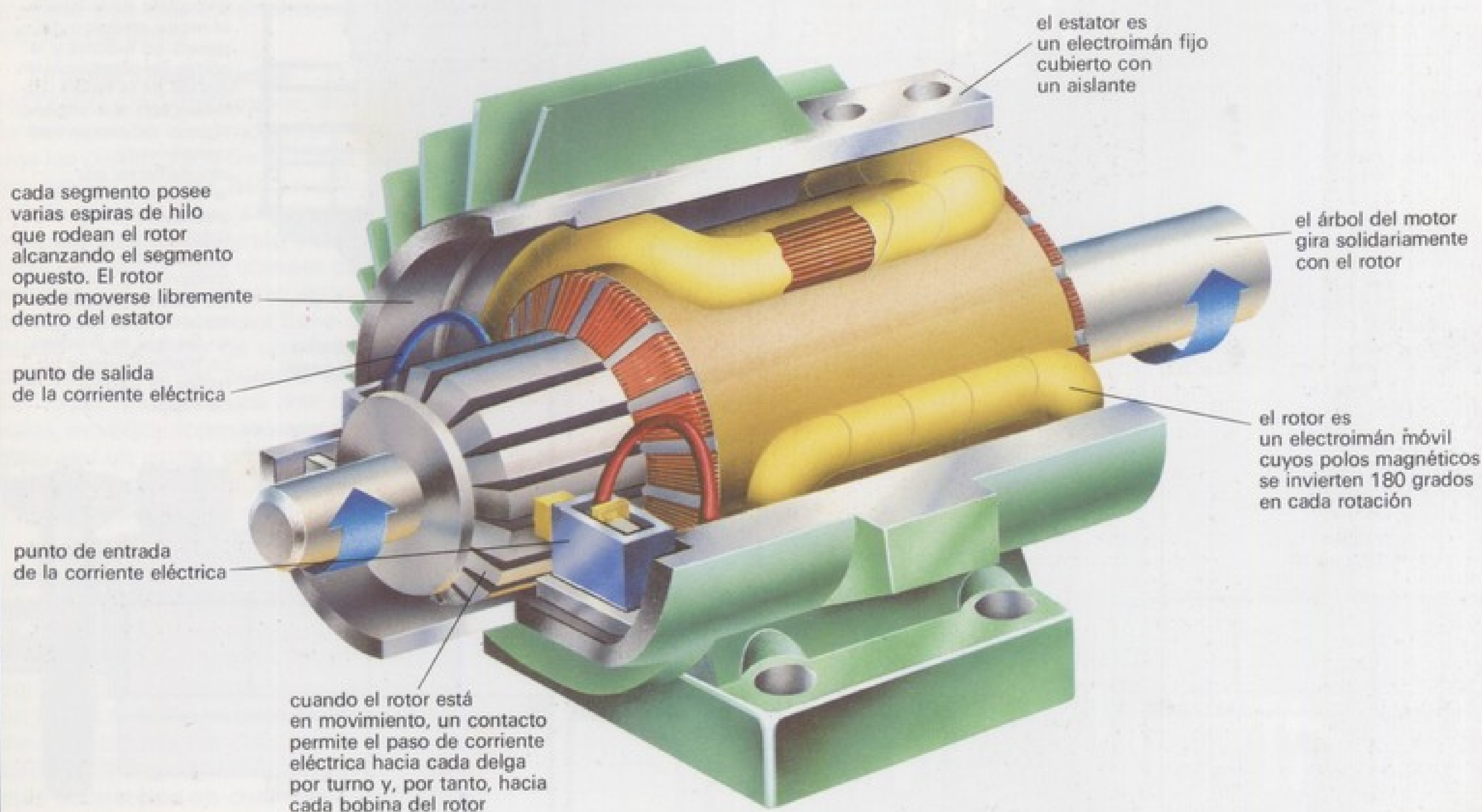
Los motores eléctricos, que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, han desplazado en gran proporción otras fuentes de energía debido a sus múltiples ventajas, entre las que cabe destacar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento. Estos motores se fabrican en potencias desde fracciones de caballo hasta varios miles y con velocidades fijas, ajustables o variables.

El motor eléctrico constituye el elemento fundamental de los electrodomésticos (batidoras, máquinas de afeitar, taladros, lavadoras, etc.) y es posible que algún día sustituya al motor de combustión interna de los automóviles: la mayor dificultad para su aplicación en este terreno es la inexistencia de baterías lo suficientemente capaces y duraderas para almacenar la cantidad de electricidad necesaria que garantice suficiente autonomía a los vehículos, sin cargarlos con excesivo peso. Aunque existen numerosos tipos de motores eléctricos, éstos pueden agruparse en: *motores de corriente continua* y *motores de corriente alterna* (que, a su vez, pueden ser de inducción, síncronos y de colector).

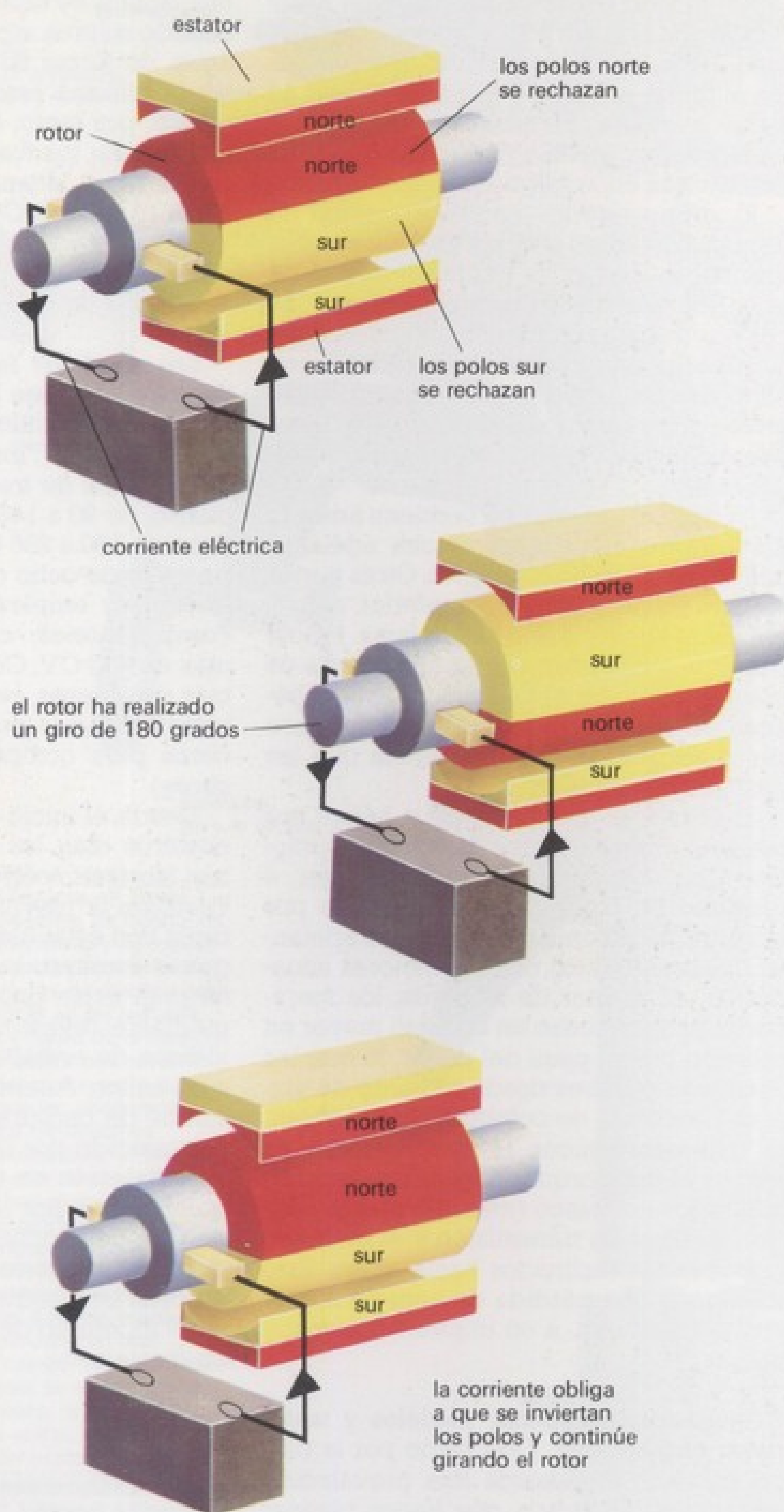
Corrientes eléctricas y campos magnéticos La conversión de energía en un motor eléctrico se produce por la interacción entre una corriente eléctrica y un campo magnético. Un campo magnético, que se forma entre los dos extremos opues-



ESQUEMA DE UN MOTOR ELECTRICO



Los motores eléctricos son un elemento fundamental para el funcionamiento de aparatos electrodomésticos y de muchas instalaciones de tipo industrial. En la fotografía de la página anterior, montaje de un motor de gran potencia para una planta siderúrgica. Los motores de corriente continua se aplican especialmente a locomotoras, tranvías y funiculares, y en los submarinos.



Cuando circula corriente por una espira de hilo de cobre, ésta se comporta como un imán. En los dibujos de esta página la espira magnetiza el rotor, que tiene por tanto un polo norte y un polo sur. Entre los polos norte y sur del estator y del rotor se produce una repulsión magnética que pone en movimiento el motor, haciéndolo girar hasta que los polos opuestos dejen de atraerse (arriba). El rotor realiza un giro de 180 grados y la circulación de corriente en la espira toma el sentido opuesto (centro). Los polos del rotor se invierten y, de nuevo por repulsión entre polos del mismo signo, continúa el movimiento del rotor (abajo).
En el motor eléctrico de la página anterior, el estator es un gran electroimán fijo situado en la parte exterior. En su interior se encuentra el rotor, un electroimán con libertad para girar. Al hacerlo, con él gira el eje. De esta forma, la energía eléctrica se transforma en energía mecánica. Los motores eléctricos utilizados normalmente son, la mayoría de las veces, de corriente alterna (proporcionada generalmente por la red de distribución). Los motores de corriente alterna pueden ser *síncronos* o *asíncronos* (dependiendo de que su velocidad tenga relación o no con la frecuencia de la corriente). Los motores asíncronos, introducidos en 1885 por Galileo Ferraris, son los que tienen mayor difusión actualmente.

tos o *polos* de un imán, es una región donde se ejerce una fuerza sobre determinados metales o sobre otros campos magnéticos (por ejemplo, sobre el campo magnético generado por una corriente eléctrica al pasar por un conductor). Un motor eléctrico aprovecha este tipo de fuerza para hacer que gire un eje: la energía eléctrica se transforma así en movimiento mecánico (energía cinética).

Un trozo de hilo de cobre permanece completamente indiferente a la fuerza electromagnética presente dentro de un campo magnético, siempre que no circule por él una corriente eléctrica. Si los dos polos del imán están colocados horizontalmente, uno frente al otro, la fuerza empuja el hilo hacia arriba cuando la corriente circula en un sentido, y hacia abajo cuando la corriente circula en el sentido contrario.

Cuando una espira de hilo de cobre se introduce en un campo magnético y se conecta a una batería, la corriente circula en un sentido por uno de sus lados y en sentido contrario por el lado opuesto. Como consecuencia, sobre los dos lados de la espira se ejercerá una fuerza: en uno de ellos hacia arriba y en el otro hacia abajo. Si la espira de hilo está montada sobre un eje metálico, de forma que pueda dar vueltas, empezará a girar hasta alcanzar la posición vertical, en que cada uno de los hilos se encontrará en el medio entre los dos polos, y en esta posición la espira quedará detenida.

Motores de corriente continua y motores de inducción Para conseguir que la espira siga girando después de haber alcanzado la posición vertical, es necesario invertir el sentido de circulación de la corriente. Para ello se utiliza un conmutador, llamado *colector*, que en el motor eléctrico más simple puede estar formado por dos chapas de metal en forma de media luna —llamadas *delgas*— situadas (sin tocarse) como las dos mitades de un anillo. Los dos extremos de la espira se conectan a las dos medias lunas. Dos conexiones fijas, unidas al bastidor del motor y llamadas *escobillas*, hacen contacto con cada una de las delgas del colector, de forma que al girar la armadura las escobillas hacen contacto primero con una delga y después con la otra.

Cuando la corriente eléctrica circula por el circuito, la armadura empieza a girar y la rotación dura hasta que la espira está llegando a la posición vertical. Como las delgas del colector giran con la espira, cada media vuelta se invierte el sentido de circulación de la corriente eléctrica: la parte de la espira que hasta ese momento recibía la fuerza hacia arriba, ahora la recibe hacia abajo, y la otra parte al contrario. De esta manera la espira realiza otra media vuelta y se repite el proceso mientras esté girando la armadura.

El modelo que se ha descrito, de corriente continua, es el más simple dentro de los motores eléctricos, pero reúne los principios fundamentales de este tipo de motores.

Entre los motores de corriente alterna está el *motor de inducción*. Este motor no necesita ni escobillas ni colector. Su armadura es de placas de metal magnetizable. El sentido alterno de circulación de la corriente en las espiras del estator crea un campo magnético giratorio que arrastra las placas de metal magnetizable, haciéndolas girar. El par y el rendimiento de este tipo de motores es muy bajo, por lo que su empleo se limita a las más pequeñas potencias que pueden requerirse en la práctica, tales como ventiladores domésticos, motores de tocadiscos, magnetófonos, etcétera.

Véase **Acumulador; Bobina eléctrica; Circuito eléctrico; Electricidad; Electromagnetismo; Energía eléctrica, producción de**

Motor fueraborda

Los modernos motores fueraborda tienen una sorprendente gama de aplicaciones. En algunos países latinoamericanos, por ejemplo, se colocan en la popa de barcazas cubiertas, de 12 metros de eslora, empleadas para el transporte de plátanos. En las regiones forestales de América del Norte, se montan en el centro de barcas circulares, con los laterales muy protegidos, sobre las que se levanta una torre donde va el piloto: estas barcas actúan de remolcadores de grandes armadías de troncos flotantes que se mantienen juntos mediante cadenas de troncos cuyos extremos se unen con ataduras flexibles. En las barcas de pesca, donde las redes se echan por la borda de popa, el motor va en una *carcasa* en el centro del carenado. En todos los sitios, especialmente en Europa, América y Australia, donde su uso es muy común ya desde los años veinte, los motores fueraborda se utilizan para impulsar una enorme variedad de embarcaciones de recreo: desde pequeñas canoas biplazas y barcos de vela hasta yates para cruceros de 9 metros —e incluso más— de eslora.

Los motores fueraborda son unidades de propulsión mecánica y se sujetan con mordazas o bien se atornillan al exterior de la quilla. En las embarcaciones de recreo, están generalmente colocados sobre el casco y a veces sobre un brazo lateral, pero siempre en la popa. Los modelos ligeros —fácilmente desmontables y poco potentes— de las primeras décadas de nuestro siglo se han transformado en la actual gama de motores cuyos pesos varían entre los 10 y los 200 kg y cuyas potencias van desde 2 a 200, o más, caballos.

Motores de combustión interna Los motores de combustión interna de dos tiempos dominaron el mercado mundial a partir de 1909, año en que Ole Evinrude, de Wisconsin, fabricó el primer motor fueraborda comercial. Los motores de dos tiempos gozan de cierta preferencia con respecto a los de cuatro tiempos del tipo de los usados en los automóviles, ya que son relativamente más ligeros, más simples y requieren procesos de mantenimiento menos complejos.

Los motores fueraborda de combustión interna se componen de tres elementos principales: la *sección de potencia*, la *sección intermedia* y el *grupo inferior* o *pie*, unidos rígidamente entre sí para formar un bloque único y extremadamente compacto.

En la sección de potencia se integran el motor y los mecanismos de arranque, de control de la alimentación y de dirección. Con los motores fueraborda, los cambios de dirección o rumbo se obtienen haciendo girar todo el motor alrededor de un eje vertical. Esto puede realizarse manualmente, por medio de una barra, dotada de un mando acelerador, directamente conectado con la sección de potencia del motor, o bien por medio de un volante y una palanca que regula la alimentación, unidos con cables de transmisión al motor.

La sección intermedia incluye un árbol de transmisión vertical y un soporte giratorio. Este último actúa como una bisagra: fija el motor al casco y le permite girar en torno a su eje. El árbol de transmisión transfiere la potencia del motor a una hélice situada en la parte inferior.

El grupo inferior contiene la caja de transmisión donde la potencia del árbol vertical se comunica al eje horizontal de la hélice, por medio de engranajes cónicos cuyos ejes son perpendiculares entre sí. Alberga también un sistema de engranajes de reducción, cuya función consiste en reducir a casi la mitad el número de revoluciones de la hélice con respecto a las del motor.

La caja de transmisión contiene además los engranajes para la marcha adelante, marcha atrás y punto muerto. Otras partes fundamentales del grupo inferior son el eje de la hélice y la hélice misma. Prácticamente todos los motores fueraborda de combustión interna están dotados de hélices de tres palas, cuyo diámetro y paso son compatibles con la potencia que les proporciona el motor.

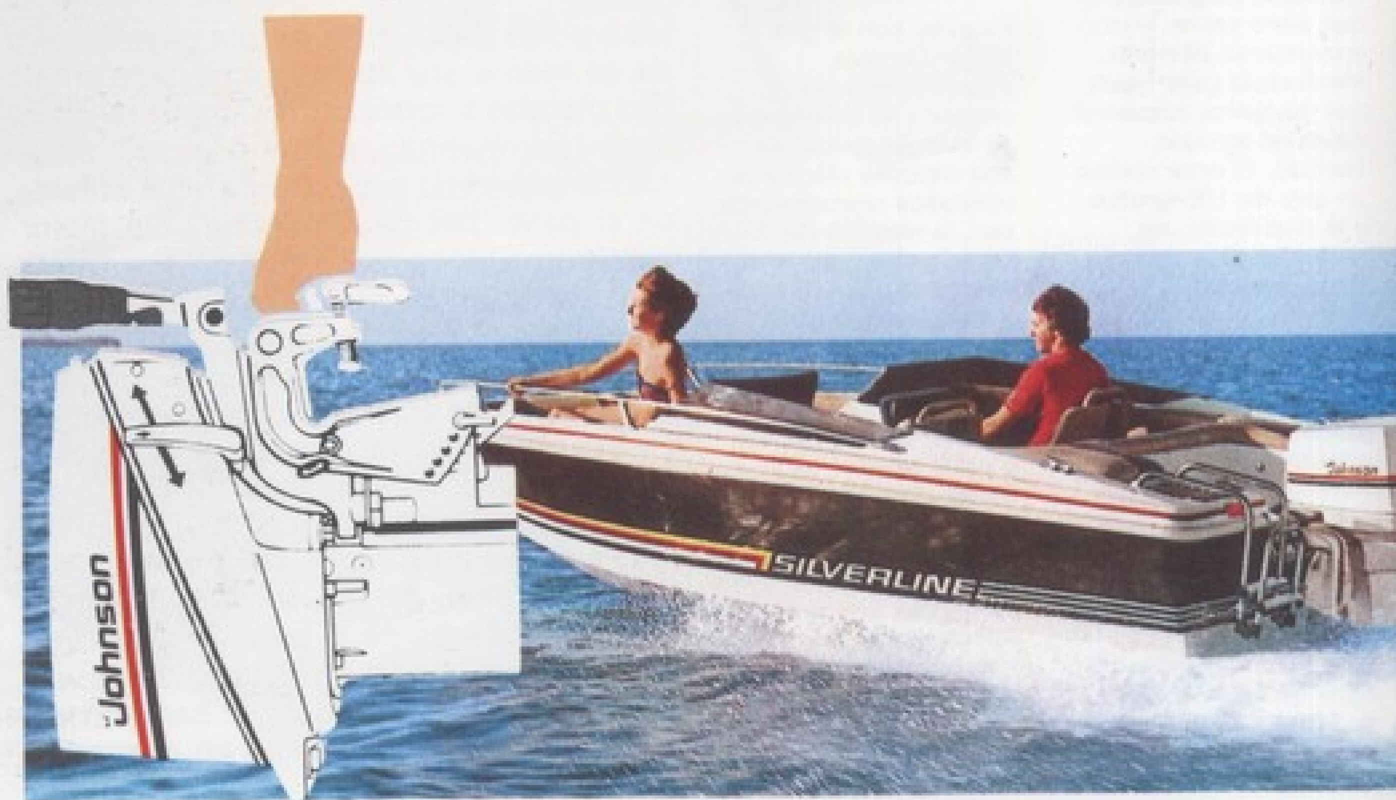
El hecho de que el eje de la hélice sea horizontal tiene una notable ventaja práctica. Esta disposición permite obtener, a igualdad de potencia proporcionada por el motor, el máximo impulso hacia adelante. Comparándolos con los motores situados en el interior de la borda, los fueraborda proporcionan un impulso mayor en relación con el peso del motor, lo que les hace más eficaces desde el punto de vista del consumo de combustible y, por tanto, más económicos. El motor interior es menos eficaz porque, al estar montado en el interior del casco (más alto que la hélice), su árbol de transmisión y el de la hélice resultan inclinados hacia abajo. Esto da lugar a una pérdida de energía mecánica y, por tanto, a un impulso horizontal menor.

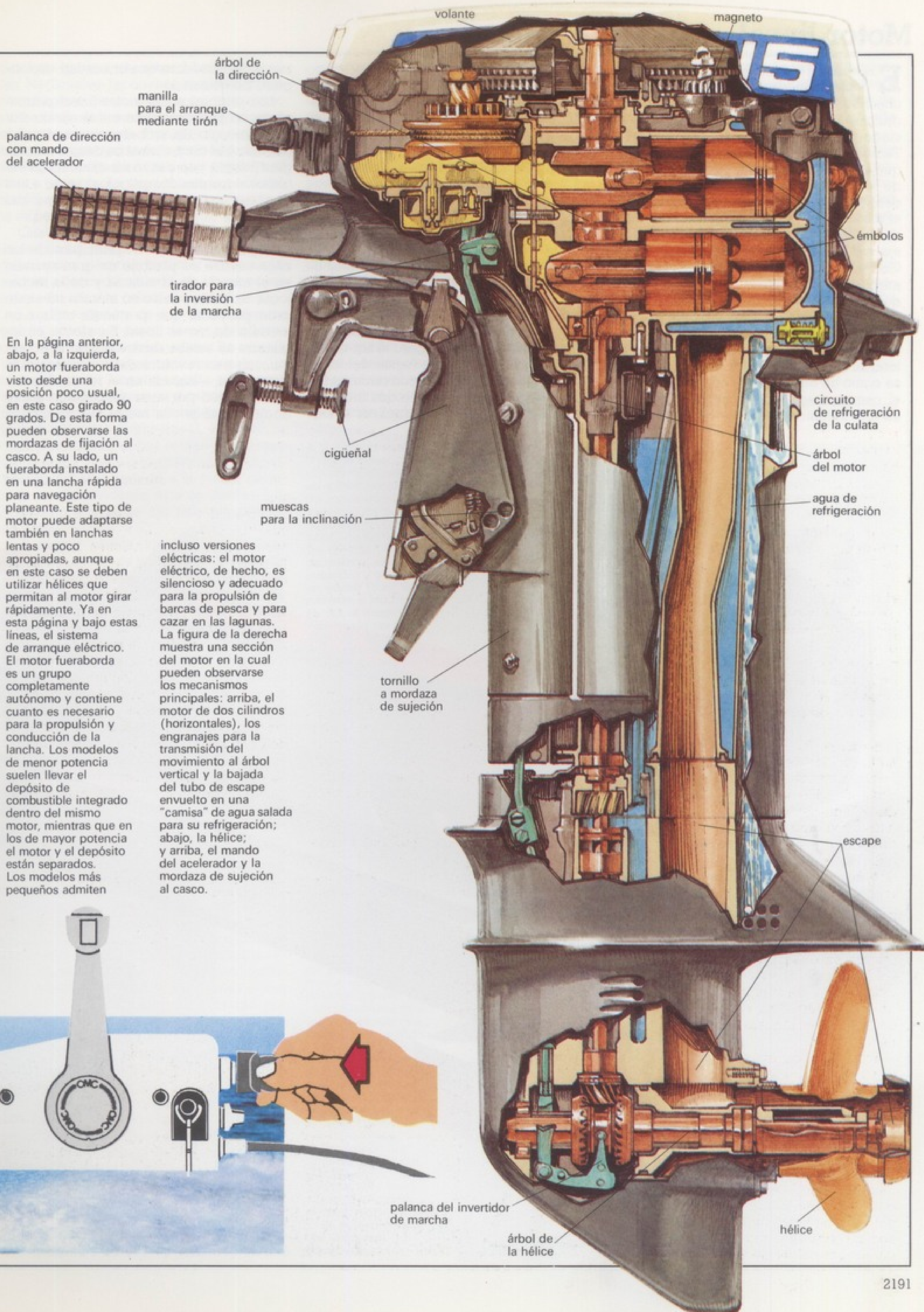
Lanchas planeadoras: modelos y materiales empleados Otra razón por la cual los motores fueraborda han prevalecido es la facilidad con la que hacen planear una lancha. Se dice que una lancha planea cuando su proa emerge lo más posible del agua, de forma tal que la lancha encuentra la mínima resistencia a su avance y puede, por tanto, alcanzar la máxima velocidad. En los fueraborda, la hélice puede llegar a alcanzar una inclinación de hasta 15 grados. Con el casco levantado y "libre" sobre el agua, la resistencia que ésta opone al movimiento se reduce y la velocidad de la lancha aumenta sensiblemente.

Los modelos fabricados normalmente tienen desde uno hasta seis cilindros. Los motores monocilíndricos desarrollan alrededor de 2 CV; los de dos cilindros, de 4 a 60 CV, los de tres, de 70 a 75 CV, los de cuatro, de 90 a 140 CV, y los de seis cilindros, de 150 a 235 CV. Existen motores especiales de ocho cilindros, fabricados por encargo y empleados únicamente en las competiciones, capaces de desarrollar más de 400 CV. Cuando se desean potencias superiores, se montan dos o tres motores alineados, como sucede con los cruceros para competiciones de altura (*off shore*).

Desde el inicio de su producción hasta nuestros días, los motores fueraborda se han fabricado con aleaciones de aluminio. También la mayoría de las hélices se fabrica con estas aleaciones, aunque hay algunas de acero inoxidable. Las partes exteriores están protegidas de la corrosión mediante revestimientos de resinas epoxídicas, de esmaltes, de materias plásticas o de nailon. Además de por los bajos consumos de carburante, los fueraborda han prevalecido por la facilidad que conlleva su instalación en embarcaciones de cualquier tipo y por la rapidez con que pueden ser desmontados para reparaciones y para su transporte. Todos los motores fueraborda se pueden alzar y sacar del agua en el momento de atracar, o cuando están en dique seco.

Véase **Embarcaciones deportivas; Motor de combustión interna**





En la página anterior, abajo, a la izquierda, un motor fueraborda visto desde una posición poco usual, en este caso girado 90 grados. De esta forma pueden observarse las mordazas de fijación al casco. A su lado, un fueraborda instalado en una lancha rápida para navegación planeante. Este tipo de motor puede adaptarse también en lanchas lentas y poco apropiadas, aunque en este caso se deben utilizar hélices que permitan al motor girar rápidamente. Ya en esta página y bajo estas líneas, el sistema de arranque eléctrico. El motor fueraborda es un grupo completamente autónomo y contiene cuanto es necesario para la propulsión y conducción de la lancha. Los modelos de menor potencia suelen llevar el depósito de combustible integrado dentro del mismo motor, mientras que en los de mayor potencia el motor y el depósito están separados. Los modelos más pequeños admiten incluso versiones eléctricas: el motor eléctrico, de hecho, es silencioso y adecuado para la propulsión de barcas de pesca y para cazar en las lagunas. La figura de la derecha muestra una sección del motor en la cual pueden observarse los mecanismos principales: arriba, el motor de dos cilindros (horizontales), los engranajes para la transmisión del movimiento al árbol vertical y la bajada del tubo de escape envuelto en una "camisa" de agua salada para su refrigeración; abajo, la hélice; y arriba, el mando del acelerador y la mordaza de sujeción al casco.

Motor lineal

En el año 1841, el físico e inventor británico Charles Wheatstone sugirió una modificación del motor eléctrico cilíndrico, mecanismo muy estudiado y apreciado por los técnicos de aquella época. También lo valoran los técnicos actuales, que encuentran en él un generador cómodo y simple de energía mecánica procedente de la rotación de un árbol motor. En el motor eléctrico cilíndrico el circuito inducido está en el rotor, montado sobre un eje central, y rodeado por un envoltorio fijo, llamado *estator*, en cuyos surcos están enrolladas las espiras de hilo conductor que constituyen el circuito inductor.

Cuando la corriente eléctrica recorre el devanado con movimiento alterno, se generan campos magnéticos giratorios en el interior del estator. El rotor, comportándose como un imán, intenta orientarse según el campo magnético variable y se pone en movimiento.

La idea de Wheatstone fue tomar el cilindro típico (a), seccionarlo por un semiplano con origen en el eje del árbol del rotor (b) y abrirlo hasta dejarlo plano (c), tal como se recoge en el esquema de la página siguiente.

La fuerza electromagnética resultante, producida por la circulación de la corriente eléctrica en las espiras, ya no es giratoria, sino lineal a lo largo del plano de las espiras, produciendo un movimiento lineal.

En la práctica, los motores eléctricos lineales se realizan con un inducido de material conductor que tiene forma de placa y con dos inductores simétricos, uno a cada lado del inducido. En teoría sería suficiente con un inductor, pero al ser necesario cerrar las líneas de fuerza del campo magnético inductor, es conveniente recurrir a la configuración de dos inductores, que además permite duplicar el número de conductores por unidad de longitud del inducido.

Los principios del motor lineal permanecieron prácticamente en el olvido durante un siglo. Sin embargo, en los últimos decenios, el motor lineal ha despertado un gran interés y se han realizado amplios estudios encaminados principalmente a sus posibles aplicaciones en el campo del transporte terrestre de alta velocidad.

El *people mover* A principios de los años setenta se produjo un gran revuelo en el mundo de la ciencia y de la tecnología: se había puesto en marcha un avanzado proyecto que pretendía utilizar un modelo de motor lineal. En efecto, en Inglaterra se estaba desarrollando el *hovertrain*, un tren revolucionario no sólo por la propulsión —basada en el motor lineal— sino también por estar suspendido sobre un único raíl por la fuerza electromagné-



tica que genera el motor. Los Ferrocarriles Nacionales Japoneses también tuvieron, durante cierto tiempo, un tren experimental basado en el mismo principio y el Departamento de Transportes estadounidense ha proyectado y probado un tren análogo. El aire de futuro que conlleva el motor lineal no ha desaparecido ni disminuido; sus promesas siguen existiendo y la experimentación continúa.

Cualquier tren típico propulsado por un motor lineal puede llevar los devanados del circuito eléctrico inductor en un alojamiento adecuado situado en la cabecera, en medio o en la cola del convoy.

La alimentación de los devanados se puede obtener a partir de acumuladores o de una línea eléctrica aérea. En vez de tener los dos carriles convencionales, un tren con motor lineal necesita solamente uno, que se introduce verticalmente en el motor, y que hace las funciones de circuito inducido del motor lineal, es decir, la cinta conductora sobre la que se ejercen las fuerzas electromagnéticas. El movimiento del tren debido a la fuerza generada resulta evidente; éste se deslizará libremente a lo largo del raíl, que permanece fijo.

A menor escala, los motores lineales han demostrado su utilidad en los *people movers*, pequeños vehículos dedicados al transporte de pasajeros en el interior de grandes complejos industriales y hospitalarios, así como en ciertas terminales de líneas aéreas. Sin embargo, la atención está centrada en los trenes de alta velocidad. El tren monorraíl de los Ferrocarriles Nacionales Japoneses está equipado con un motor que no necesita control humano y que ha conseguido alcanzar velocidades superiores a los 517 km por hora.

Entre los problemas aún por resolver figuran el de mejorar el sistema de suspensión del tren sobre el raíl, la forma de proporcionar al motor la enorme cantidad de potencia eléctrica que necesita y el de evitar la turbulencia en el campo magnético que se produce en las zonas donde el carril entra y sale del motor.

Un área nueva de la tecnología, dedicada a la investigación sobre las aplicaciones de imanes superconductores, está empezando actualmente a contribuir al desarrollo de los ferrocarriles de motor lineal. El fenómeno de la superconductividad se produce cuando aleaciones o metales (como el cinc, aluminio y estaño, por citar algunos) se enfrían a temperaturas del orden de −269 °C, próximas al cero absoluto. A estas temperaturas esos metales presentan una conductividad eléctrica prácticamente infinita y, lo más importante, un aumento del potencial magnético. Los imanes superconductores incrementan el efecto magnético de los raíles y proporcionan un sistema de sustentación del tren sobre éstos basado en la repulsión magnética ejercida contra una masa metálica situada debajo del convoy.

Posibles aplicaciones futuras Del motor lineal se ha hablado mucho y desde hace tiempo; sin embargo, hasta el momento no se ha utilizado tanto como podría esperarse. Durante muchos decenios se ha utilizado en la industria como medio de bombeo de metales líquidos. A mediados de los cuarenta, la Marina estadounidense lo utilizó de forma bastante espectacular como potente catapulta para facilitar el despegue de los aviones desde la cubierta de los portaviones.

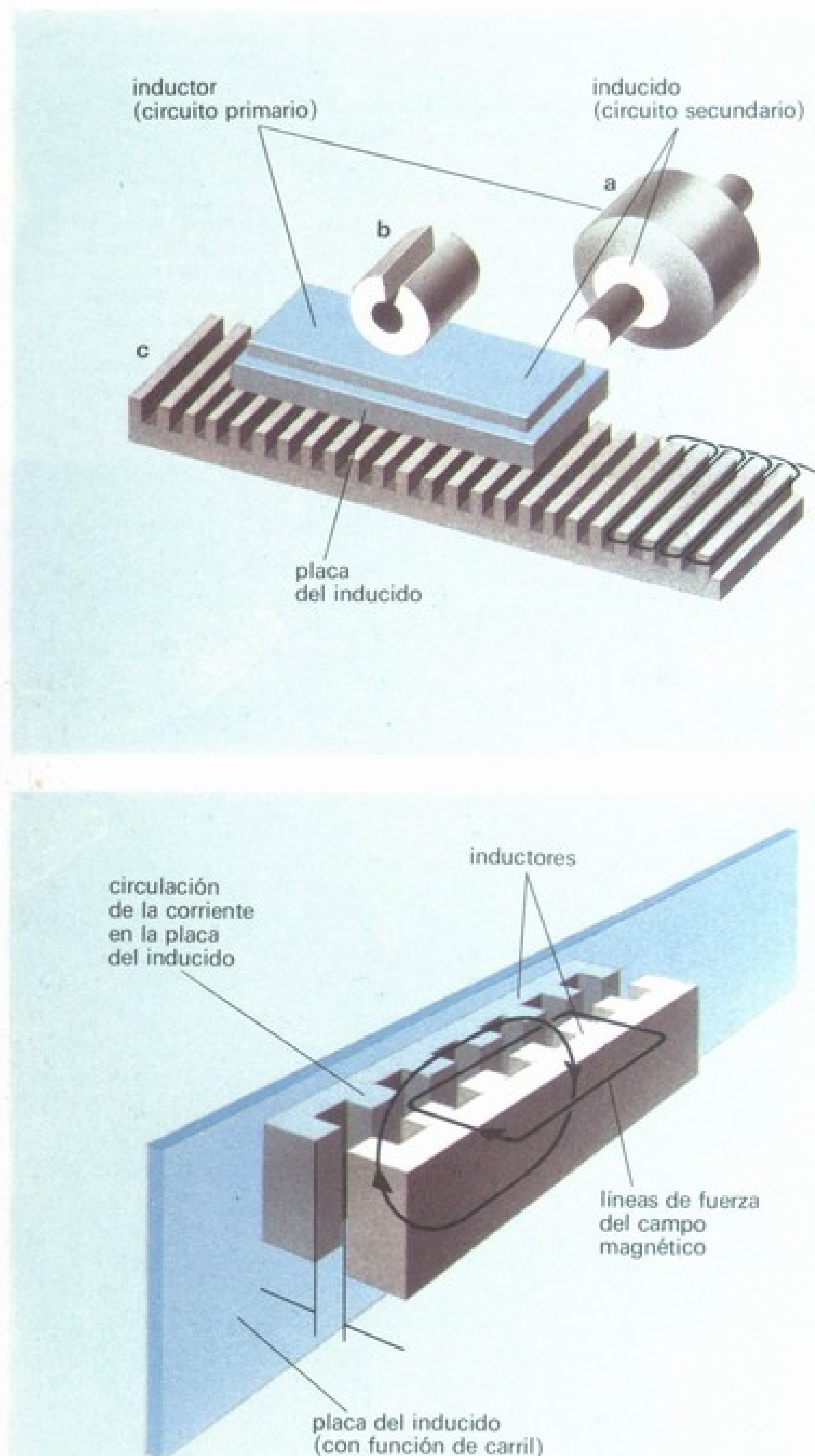
De forma análoga, el motor lineal tiene aplicación en el campo de la investigación nuclear, donde se utiliza para aumentar la velocidad en el interior de los aceleradores de partículas.

Con una difusión cada vez mayor, los motores lineales se emplean como cintas transportadoras de metales, para el movimiento de las canillas de los telares en la industria textil y para efectuar la apertura y el cierre de puertas correderas. Una aplicación importante de este tipo de motor se ha encontrado en la industria minera, concretamente para el transporte fuera de la mina de los vagones cargados de mineral y para su reintroducción en ella una vez vaciados.

Algo similar a un motor lineal se podría utilizar en un futuro para acelerar los proyectiles por medio de la fuerza electromagnética, de forma que un cañón podrá disparar un proyectil de artillería a una velocidad muy elevada, capaz de perforar la protección acorazada más resistente.

Con fines más pacíficos, un acelerador de masa permitiría lanzar al espacio toneladas de minerales extraídos de la Luna con el fin de construir colonias espaciales. Estos aparatos funcionarían como las primeras catapultas de los portaviones, pero mucho más perfeccionadas.

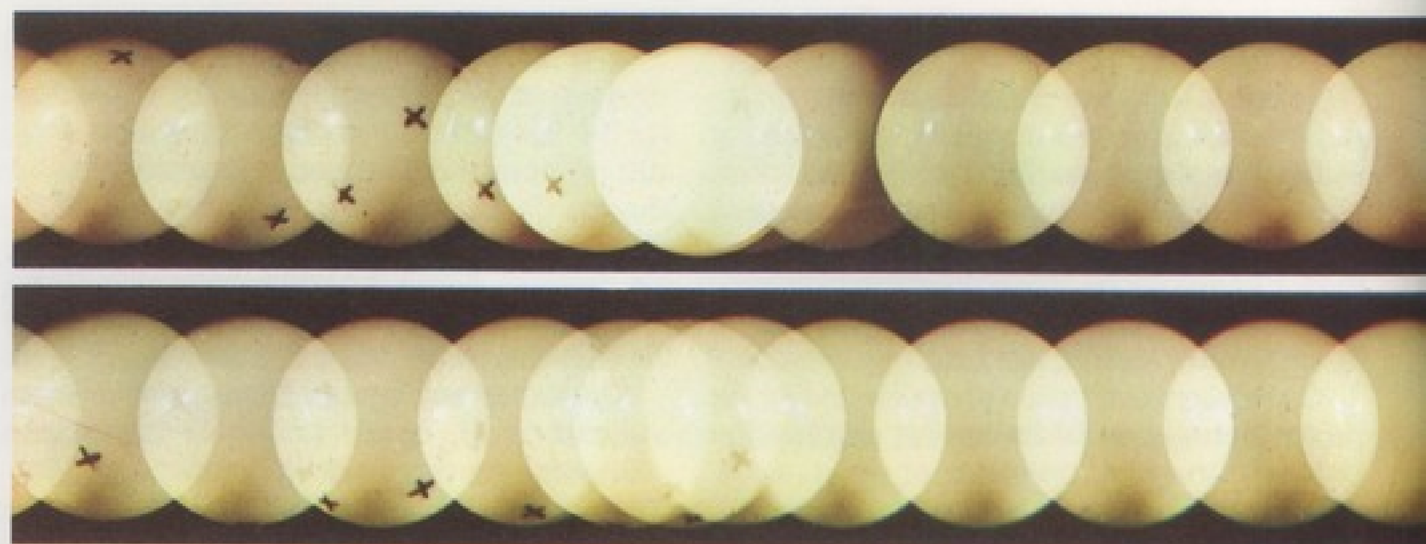
Véase **Monorraíl; Motor eléctrico**



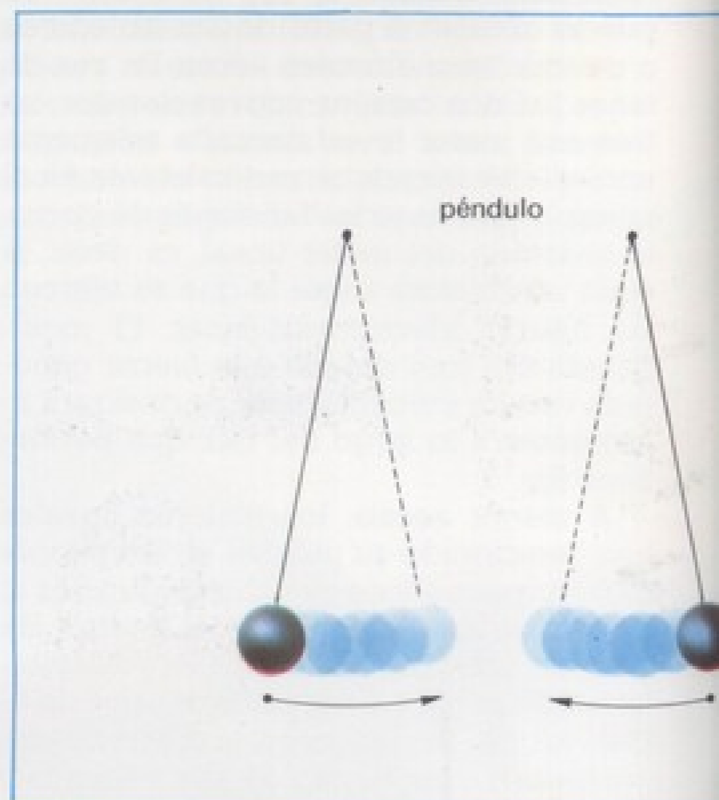
A la derecha, motor lineal de inducción, considerado como un aplanamiento del motor eléctrico asíncrono en jaula de ardilla. En (a), motor asíncrono formado por un rotor (circuito secundario, es decir, inducido) y por un estator (circuito primario, o inductor). En (b), el motor es seccionado por un corte que llega hasta el eje del rotor y que permite imaginar el desarrollo plano. En (c), representación esquemática del rotor y del estator planos. Debajo, esquema simplificado de la configuración práctica del motor eléctrico de inducción lineal. El circuito inducido consta de una placa de material conductor; a sus dos lados están alineados los dos circuitos inductores simétricos. En el esquema se ha indicado también la forma de las líneas de fuerza del campo magnético inductor y la circulación de corriente en la placa del inducido. Hoy se está tratando de poner a punto vehículos ferroviarios que utilicen este tipo de motor. En la página anterior, aspecto de un tren que utiliza el motor lineal. Como este tipo de propulsión permite alcanzar velocidades elevadas, se puede combinar con un sistema de suspensión por levitación magnética, que reduce los rozamientos y las vibraciones durante el movimiento. También se ha experimentado con materiales superconductores.

Movimiento

A principios del siglo XVII un hombre fue encarcelado y procesado por sus estudios, que arrojaban nueva luz sobre la naturaleza de los cuerpos materiales. Galileo Galilei, el primer hombre que estudió el movimiento de los planetas con la ayuda de un telescopio, había recogido una serie de datos que demostraba que la Tierra no era el centro del Universo, como se había creído desde los tiempos de Aristóteles, sino que giraba en una órbita alrededor del Sol de la misma manera que los demás planetas. Hoy en día parece extraño pensar que el estudio del movimiento pueda provocar tal censura, pero en aquella época las conclusiones de Galileo se consideraban como de naturaleza religiosa y constituían una afrenta hacia la teoría según la cual la posición de nuestro planeta en el Universo era privilegiada. Un tribunal de la Inquisición obligó a Galileo a abjurar de sus ideas y resultados. Sin embargo, el camino ya estaba preparado para sus sucesores, entre los que se encontrará Isaac Newton.



El análisis del movimiento se puede llevar a cabo con medios teóricos o con medios instrumentales. Con los teóricos, el movimiento sólo se prevé, mientras que en el caso real se podrá desarrollar de manera totalmente diferente, siendo por lo tanto necesario tener un cierto control. En esta página, algunos ejemplos de movimiento analizado mediante un instrumento de laboratorio, donde generalmente es necesario efectuar el control de los mecanismos. Se trata de tomas estroboscópicas en el caso de un choque (arriba) y de un rebote (debajo). El análisis del movimiento en términos de Mecánica moderna comenzó hace poco más de tres siglos, con las investigaciones de Galileo. El experimento que se muestra en la página siguiente, arriba a la derecha, sirve para determinar la aceleración de masas que se dejan caer a lo largo de un plano inclinado; es el que sirvió a Galileo para formular la segunda ley de la Dinámica, según la cual, fuerza y aceleración están ligadas mediante una proporcionalidad. En realidad se trata →



Las leyes del movimiento de Newton Las tres leyes del movimiento de Newton, enunciadas al final del siglo XVII, son todavía hoy el núcleo central de la llamada *Mecánica clásica*, es decir, aquella rama de la Física que se ocupa del movimiento y de las interacciones de los cuerpos físicos, tal y como los vemos a escala macroscópica, o sea, en el ámbito de un esquema terrestre o interplanetario.

Estas leyes, enunciadas en el libro de Newton *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Principios Matemáticos de Fisolosofía Natural)* dicen simplemente que: 1.ª Un cuerpo mantiene su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme siempre que no intervenga una fuerza exterior. 2.ª Una fuerza exterior aplicada sobre un cuerpo provoca en él una aceleración, que es proporcional a la fuerza aplicada. 3.ª A cada acción le corresponde una reacción igual y contraria.

Imaginemos, por ejemplo, que hay un cajón sobre un estanque helado. La primera ley de Newton dice que se mantendrá en reposo hasta que alguna fuerza actúe sobre él. Si llega un patinador y lo empuja, la segunda ley dice que comenzará a moverse y su velocidad empezará a aumentar tanto más deprisa cuanto más fuerte sea el empuje. Según la tercera ley, el cajón también ejercerá un empuje hacia atrás, dirigido hacia el patinador, y, en efecto, éste tendrá que clavar las cuchillas de sus patines en el hielo porque correrá el riesgo de caerse hacia atrás.

Finalmente, la primera ley dice que cuando el empuje del cajón cese, éste se deslizará a velocidad constante. (En realidad el cajón irá frenándose gradualmente hasta detenerse, ya que sobre el hielo también existe una pequeña fuerza de rozamiento). En todo nuestro mundo existen fuerzas de rozamiento de este tipo, y sólo con Galileo se llegó a la conclusión de que el movimiento uniforme era posible sin la aplicación de una fuerza uniforme, siempre que no exista fuerza de rozamiento alguna.

Todo esto parece obvio cuando se consideran ejemplos sencillos con relativamente pocas variables.

El significado fundamental del trabajo de Newton sobre el movimiento se encuentra en la transcripción de sus conclusiones en términos matemáticos, que permiten explicar relaciones más complejas. Del conocimiento de sus leyes pueden derivar unas ecuaciones que ayudan a comprender un gran número de fuerzas que se manifiestan sobre nuestro planeta, incluida una que generalmente damos por descontada: la *fuerza de gravedad*.

Además del movimiento uniforme, muchos otros tipos de movimiento entran en el campo de las tres leyes de Newton. Algunos de estos movimientos son: el *movimiento circular* y el *movimiento rotatorio*, que se manifiestan, por ejemplo, en las ruedas de la bicicleta, en las peonzas y en los giróscopos; el *movimiento de un proyectil*, como una piedra lanzada con la mano o un misil con la rampa de lanzamiento; los *movimientos periódicos del péndulo* o de los objetos unidos a resortes que oscilan de arriba a abajo en un campo gravitatorio; y, finalmente, el *movimiento de los astros*.

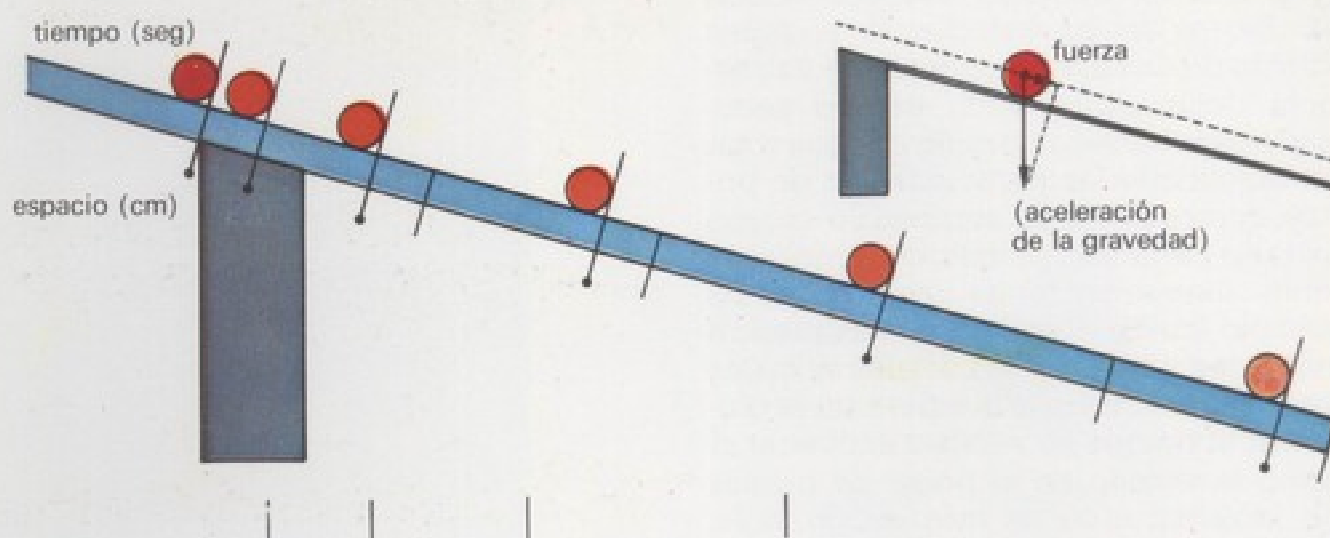
Las fuerzas Un concepto particularmente importante que aparece en las leyes de Newton es el de *fuerza*, es decir, aquello que produce una aceleración de una masa dada sobre una distancia dada, y que está presente constantemente en el mundo físico. Cuando, por ejemplo, el viento sopla sobre las ramas de un árbol, está ejerciendo una fuerza sobre el árbol. Este dobla las ramas (*masa*) y forma un arco, una posición distinta de la que las ramas toman normalmente en reposo, haciéndolo con un cierto aumento de la velocidad *(aceleración)*. También la presión de los gases y de los vapores que están dentro del cilindro de un motor de explosión representa una forma de fuerza.

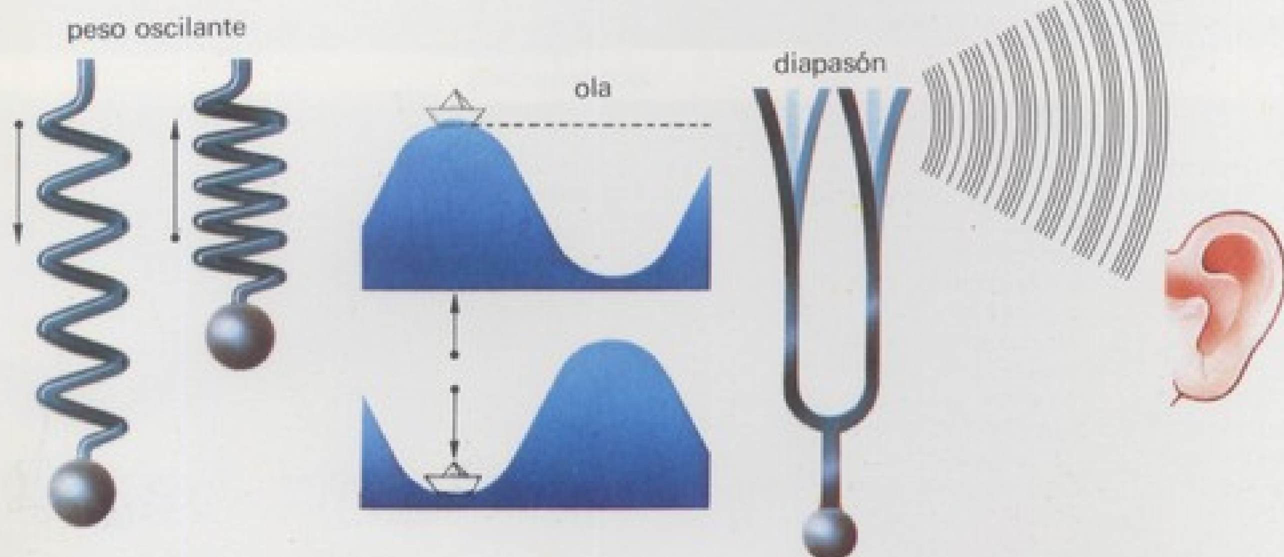
Obviamente, la resistencia al movimiento en elementos tan complejos como el aire o el agua no es tan fácil de analizar como el movimiento de las bolas de billar sobre una mesa. De todas formas, el principio sobre el que se basan es el mismo: todo movimiento está producido por una fuerza.

Sistemas de referencia En el estudio de un movimiento cualquiera es necesario tener presente el importante concepto de *sistema de referencia*.

En cada observación hay un sistema de referencia que determina la naturaleza de nuestra percepción del movimiento. Por ejemplo, si viajamos en un automóvil que se mueve a velocidad constante, otro automóvil que se mueve en la misma dirección y a la misma velocidad puede parecer que está quieto. (Idéntica sensación

de un complicado experimento si se desarrolla con esferitas que ruedan, ya que hay que tener en cuenta, además de la energía del movimiento rectilíneo, la de rotación. El análisis de objetos macroscópicos que oscilan (véanse los ejemplos que se ilustran bajo estas líneas) se puede realizar con medios de laboratorio.



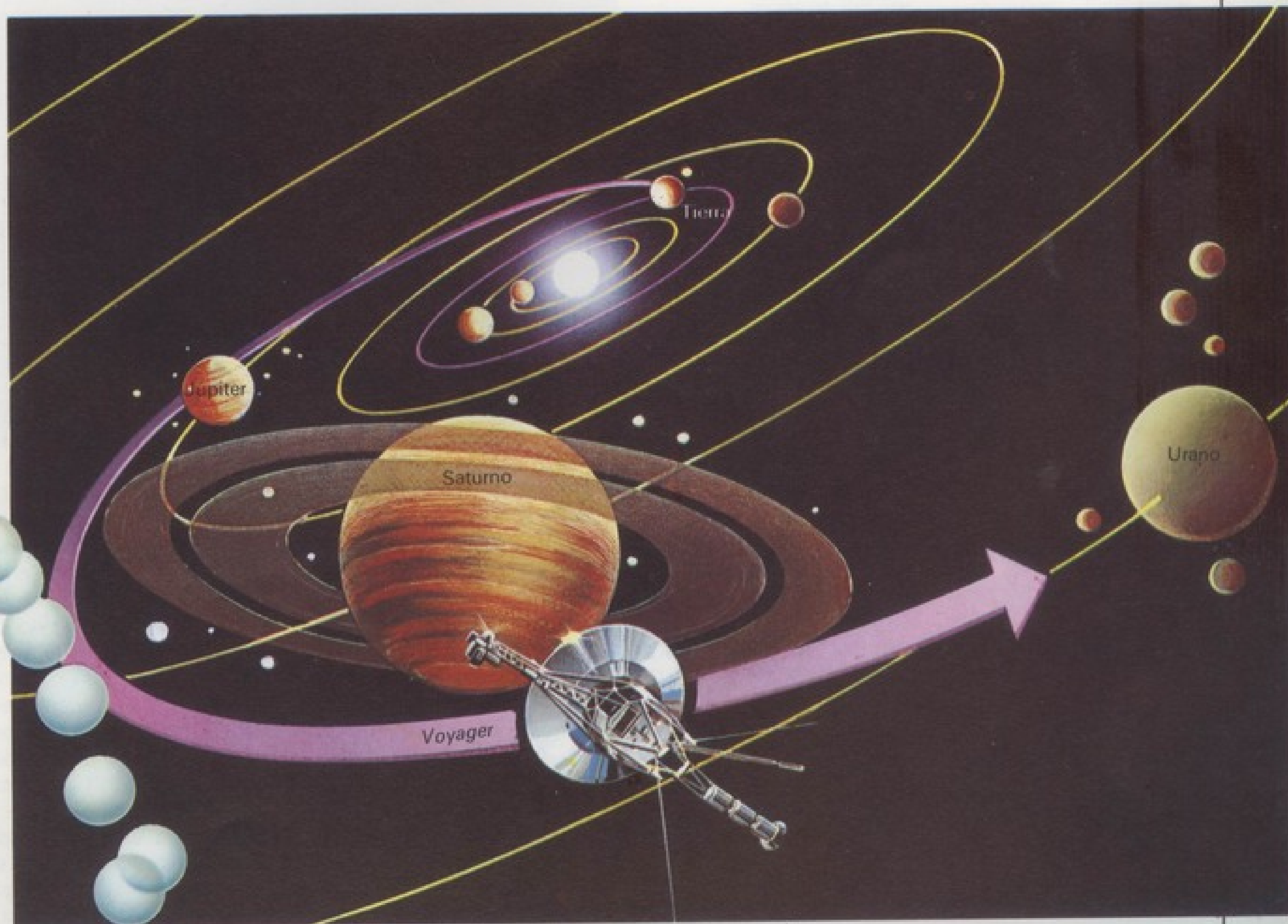


tenemos cuando nos encontramos en una situación análoga en un tren). Sin embargo, un observador situado en el margen de la carretera ve dos automóviles en movimiento. Las percepciones son distintas según dónde nos encontremos, porque el sistema de referencia es diferente.

La idea de sistema de referencia, que puede modificar radicalmente la percepción del movimiento, ha proporcionado una base importante para el concepto de *relatividad* en el campo de la Física del siglo XX, con la consiguiente superación de la Mecánica clásica newtoniana. Según se va perfeccionando el estudio del movimiento, puede ser necesario comprender e identificar un mayor número de variables para poder examinar y entender sistemas más complejos.

Véase **Física; Mecánica; Movimientos brownianos; Movimientos ondulatorios**

El control del movimiento de las sondas espaciales (aquí vemos la sonda *Voyager* que atraviesa el Sistema Solar) es muy complicado. El radar no tiene la direccionalidad suficiente para poner en evidencia la dirección exacta de la procedencia de las radioondas recibidas, y, por su parte, la medida de la distancia alcanzada sólo se puede obtener con un complejo sistema de calibración mediante radioondas.



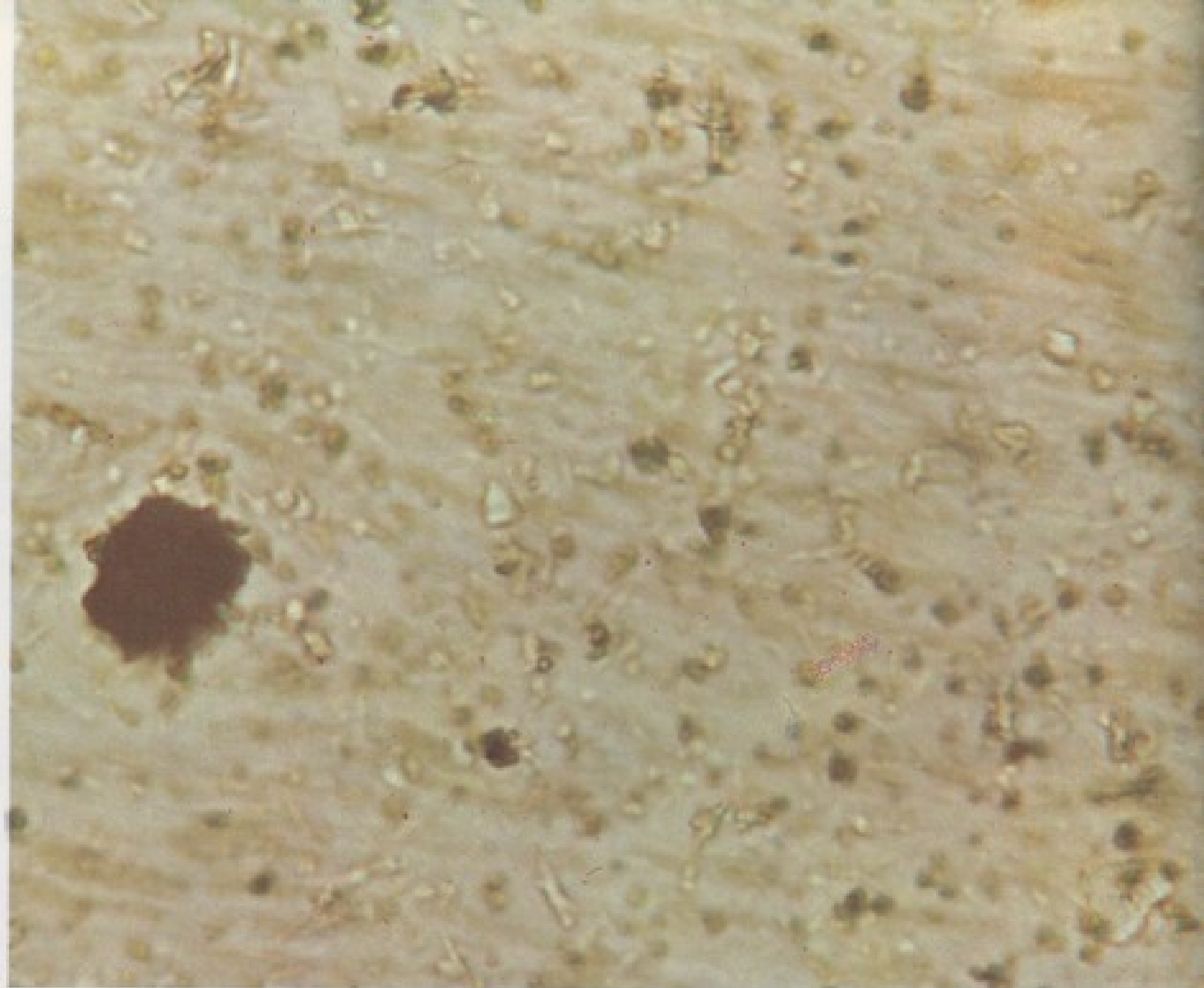
Movimientos brownianos

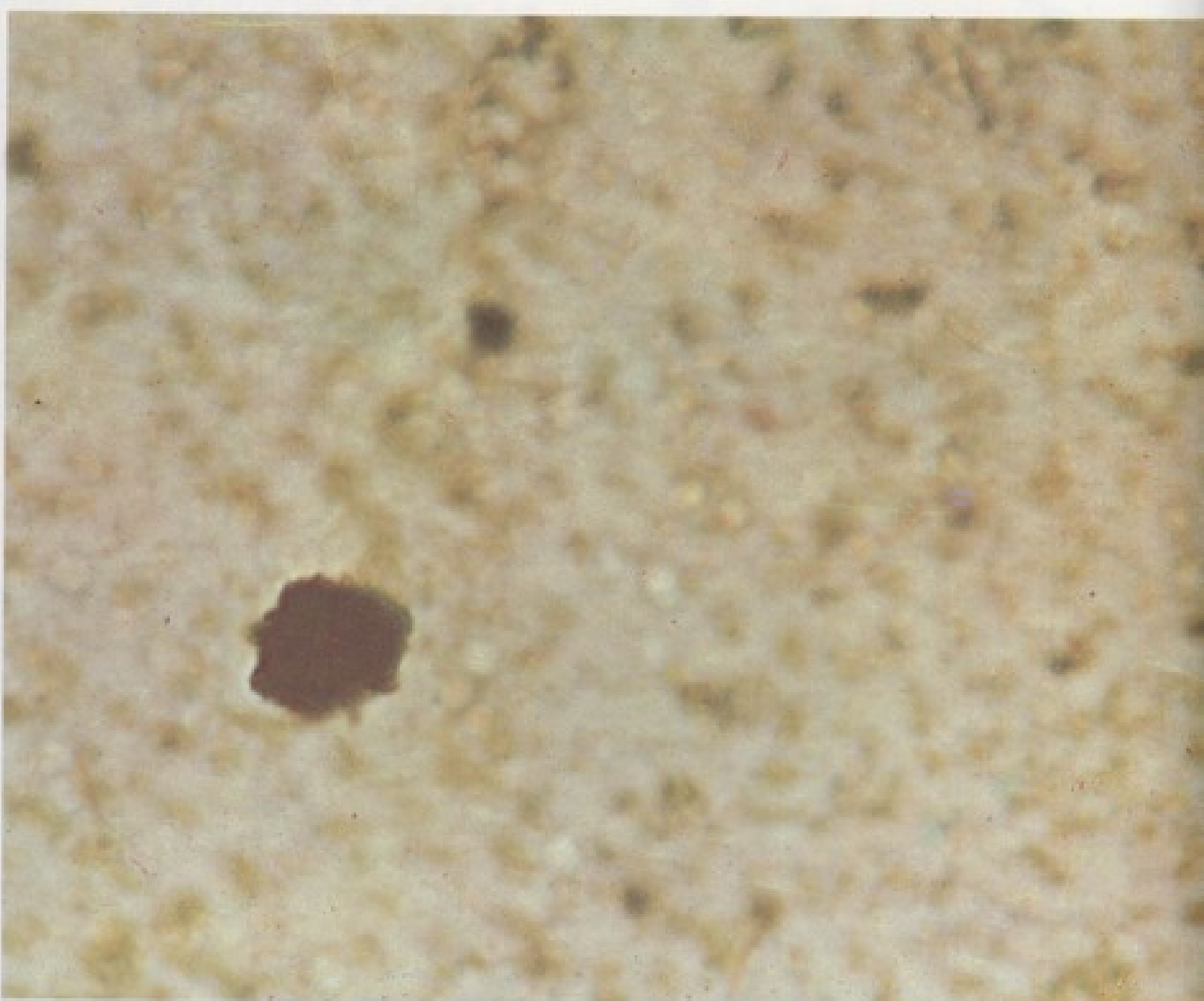
En 1827 el botánico escocés Robert Brown estaba estudiando el polen extraído de una flor procedente de una especie descubierta poco tiempo antes. Después de haberlo disuelto en agua y haber examinado las partículas con un potente microscopio, le sorprendió mucho que tales partículas se movieran continuamente, aunque de forma irregular. En un principio Brown atribuyó este fenómeno a la vitalidad natural de las células sexuales masculinas de las plantas, pero en seguida descubrió que se volvía a encontrar el mismo fenómeno en el polen de plantas que llevaban muertas más de un siglo. Fascinado por semejante descubrimiento, Brown empezó a estudiar este movimiento irregular en zig-zag y se dio cuenta de que partículas microscópicas de cristal y de polvo suspendidas en agua también estaban sometidas a los mismos movimientos.

Estos misteriosos movimientos, característicos de todas las partículas microscópicas de materia, animada e inanimada, se denominaron *movimientos brownianos*.

Los estudios que se efectuaron más tarde demostraron que tales movimientos no cesaban nunca, se producían de forma totalmente irregular y aumentaban cuando aumentaba la temperatura del líquido en el que las partículas estaban en suspensión. Durante un corto período de tiempo los movimientos se atribuyeron a minúsculas y rápidas corrientes existentes en el líquido, pero esta tesis se rechazó rápidamente.

Durante mucho tiempo los científicos no fueron capaces de encontrar una explicación para los movimientos brownianos, y la solución del problema, propuesta por Albert Einstein, representó un importante paso adelante de la Física moderna, ya que confirmó definitivamente la teoría atómica moderna y, con ella, la *teoría cinética de la materia*.



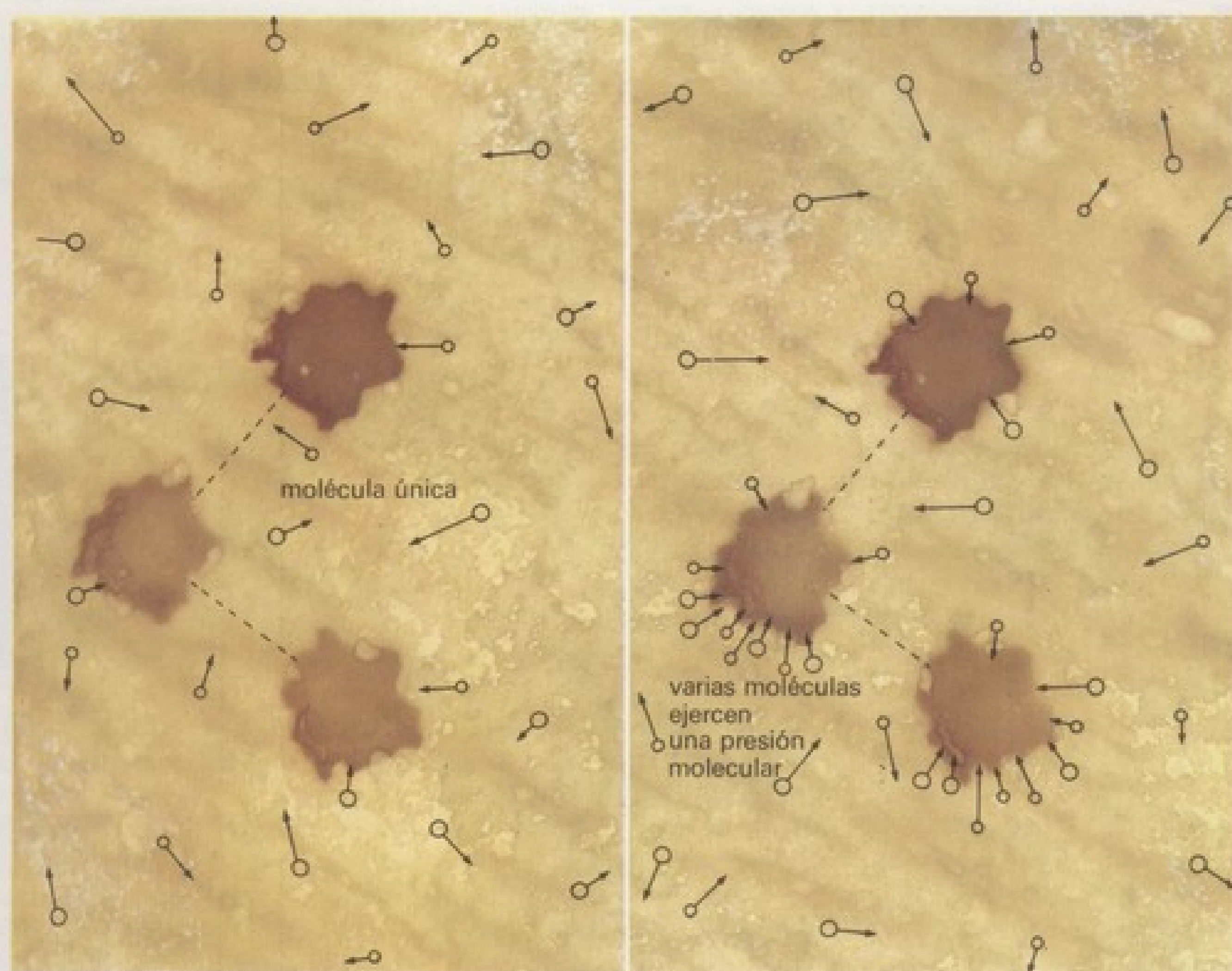


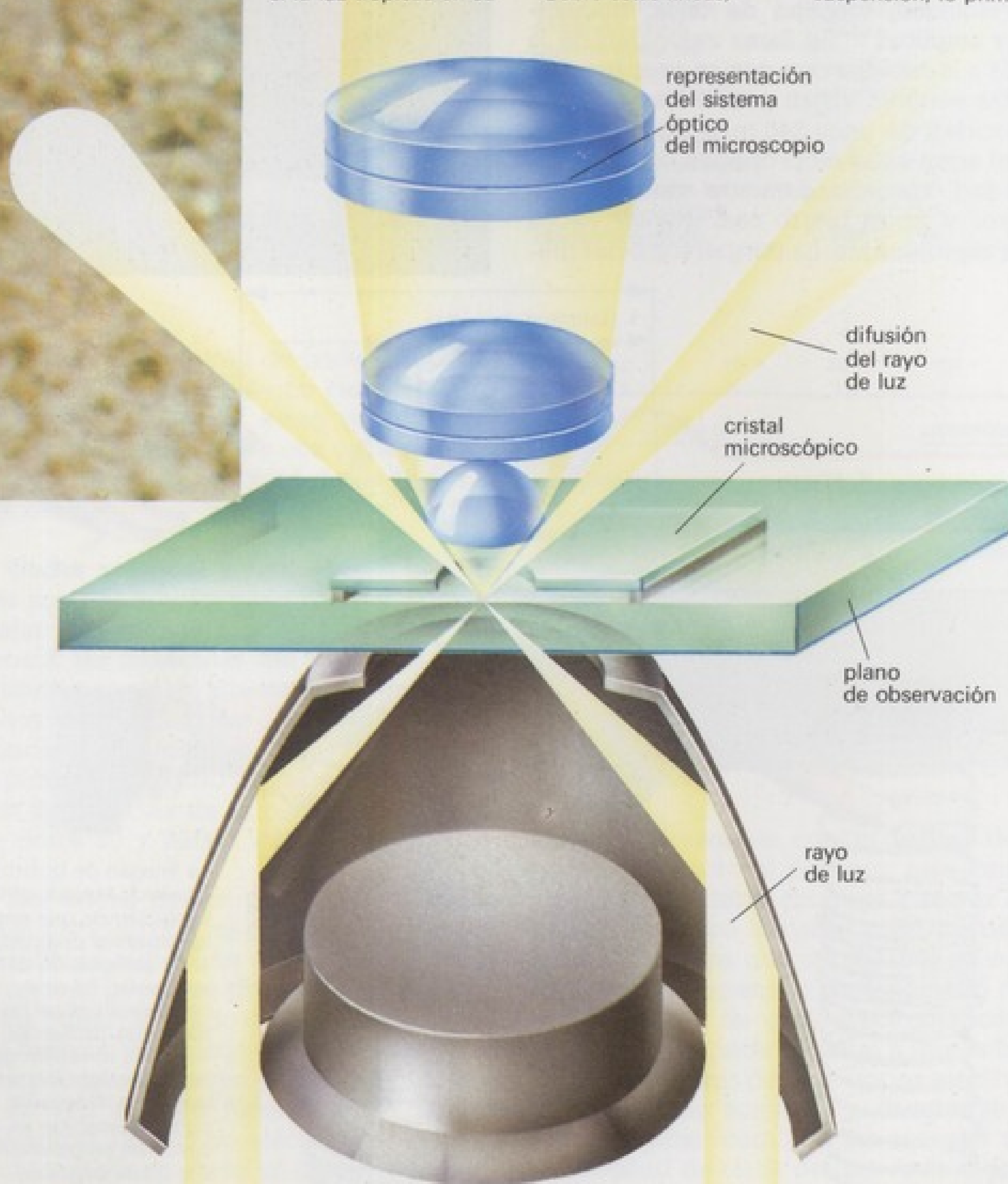
Atomos y moléculas en constante movimiento La teoría cinética fue desarrollada durante el siglo XIX por el físico inglés James Clerk Maxwell y por el austriaco Ludwig Boltzmann para explicar el comportamiento de la materia. Según esta teoría, toda la materia está constituida por unidades fundamentales denominadas *átomos* o por determinadas combinaciones de átomos denominadas *moléculas*. Los átomos y las moléculas están constantemente en movimiento y, aunque las distancias entre los átomos (o moléculas) sean muy grandes respecto a sus dimensiones, frecuentemente colisionan entre sí. Las colisiones son perfectamente elásticas, o sea, no resulta ninguna pérdida de energía de movimiento de estas minúsculas partículas, ya que rebotan manteniendo la misma energía global que tenían antes del choque. La energía del movimiento de los átomos y moléculas y la frecuencia de sus colisiones son directamente proporcionales a la temperatura: cuanto más elevada es la temperatura de la materia, tanto más veloz es el movimiento de los átomos y moléculas y mayor es la frecuencia de los choques.

A principios de siglo existían todavía eminentes científicos, entre los que estaban el físico también austriaco Ernst Mach y el físico alemán Wilhelm Ostwald, que no aceptaban la teoría atómica y la teoría cinética. Estos físicos mantenían que las pruebas disponibles entonces eran insuficientes.

La contribución de Einstein En 1950 Albert Einstein publicó un estudio que contribuyó de manera decisiva a la solución del problema. En dicho estudio, titulado *Sobre el movimiento de pequeñas partículas suspendidas en un líquido estacionario, según la teoría cinética molecular de inducción*, explicó los movimientos brownianos recurriendo precisamente a las colisones de los átomos y de las moléculas, como establecía la teoría cinética Einstein intuyó que estos choques no se podían encontrar en cuerpos mucho más grandes que los átomos y moléculas, de la misma forma que el choque de una mosca con un coche no determina una variación apreciable, y sobre todo observable, del movimiento de éste. Sin embargo, los efectos de las colisiones sí se pueden notar en el caso de minúsculas partículas visibles a través del microscopio, y Einstein sostuvo que lo que veían los científicos cuando estudiaban los movimientos brownianos a través del microscopio eran precisamente los efectos de los choques. (El mismo había observado estos movimientos, definiéndolos como "visión impresionante"). Einstein hizo cálculos precisos para determinar cuánto se desplaza una partícula después de una colisión, y comprobó que ello depende del tamaño y de la masa de la partícula y de la temperatura y viscosidad del líquido.

Las dos fotografías de la izquierda demuestran claramente la existencia del movimiento browniano. Una gota de una suspensión de pintura de *spray* en agua se coloca en un cristal de microscopio. Tomando una partícula de mayor volumen como referencia y haciendo una primera fotografía (arriba) con un tiempo de exposición reducidísimo, se observan todas las partículas quietas. Si se obtiene después una segunda imagen (abajo) con un tiempo de exposición más largo, se verá que la partícula de referencia está parada mientras las otras partículas más pequeñas forman un fondo borroso que demuestra su movimiento incesante. Bajo estas líneas, instrumento para observar el movimiento browniano. La luz se desvía mediante un accesorio a propósito, de forma que el campo de observación queda totalmente a oscuras: si la luz tropieza en su recorrido con una partícula, por pequeña que sea, los rayos de luz se difunden, haciéndola visible. Sobre estas líneas, una situación de movimiento browniano. Al observar una partícula que se desplaza en una suspensión, lo primero que se percibe es que las partículas se mueven más rápidamente cuanto mayor es la temperatura. La partícula más pequeña resulta, sin embargo, demasiado grande para que sea observable el movimiento debido al choque de una única molécula. Por otra parte, la relación entre temperatura y velocidad sugiere el origen molecular del movimiento browniano. En realidad, partiendo de la teoría cinética del calor se demostró que una partícula sometida a los choques simultáneos de varias moléculas recorrería una trayectoria casual que sería el resultado de la diferencia entre el número de choques recibido en una cara de la partícula y el número de choques en la otra cara; cuanto más pequeña sea la partícula, mejor se observará el movimiento. Esto hace excluir una explicación mecanicista excesivamente simple basada en los saltos que iría dando una partícula al ser golpeada por cada molécula. El hecho de que desde el principio se haya excluido el efecto de flujo del medio de suspensión en la explicación de los movimientos de las partículas ha dirigido la interpretación hacia una teoría de tipo estadístico.





El ultramicroscopio, introducido en 1903, contribuyó al aumento de la precisión en la obtención de datos de fenómenos microscópicos y, en 1908, el físico francés Jean Perrin lo utilizó para estudiar los movimientos brownianos. Los resultados obtenidos confirmaron los cálculos efectuados por Einstein, y, con ellos, la teoría cinética de la materia.

Wilhelm Ostwald, científico conocido por ser el mayor opositor a la teoría atómica, aceptó tal teoría, totalmente convencido de la explicación de los movimientos brownianos basada en la teoría cinética. Jean Perrin obtuvo por este estudio el Premio Nobel de Física en el año 1926, casi cien años después del descubrimiento casual de Brown de los movimientos de las partículas en el polen de las flores.

Véase **Atomo; Molécula**

Movimientos ondulatorios

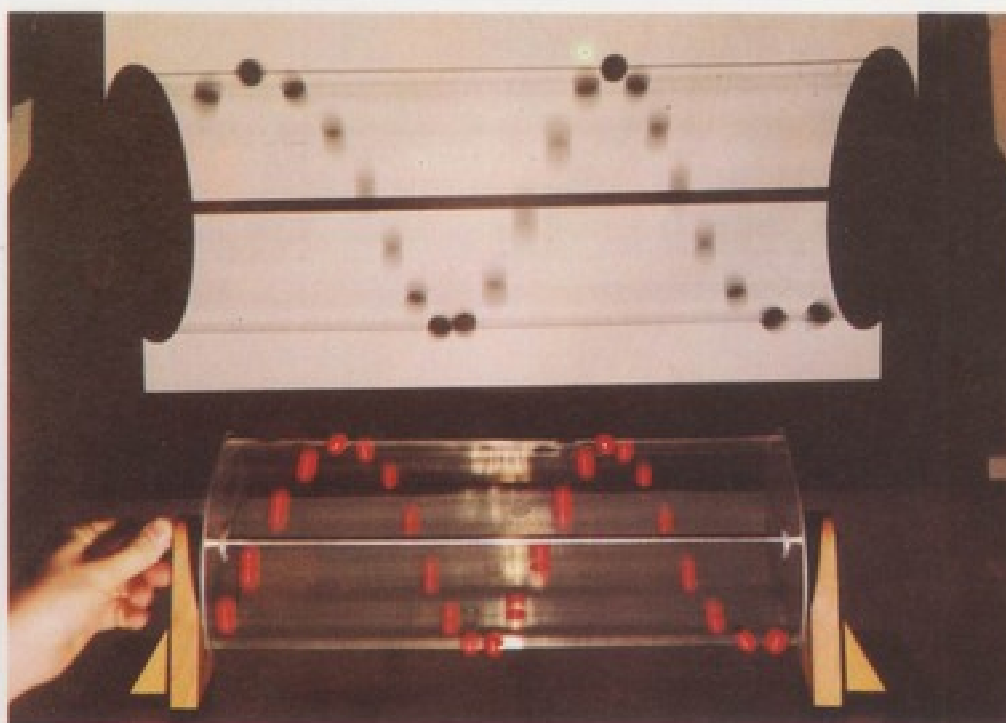
Las ondas en la superficie del agua, tanto las olas del océano como las ondas que produce una piedra al caer en un estanque, son los ejemplos más conocidos de ondas. El sonido y la luz también se propagan en forma de ondas, pero su movimiento periódico no se puede percibir directamente.

Ondas transversales y ondas longitudinales Cuando se sujeta con una mano el extremo de una cuerda larga, se puede producir una serie de ondas moviendo hacia arriba y hacia abajo la mano: aunque las ondas viajen a lo largo de toda la cuerda, cada una de las zonas de ésta sólo se mueve hacia arriba y hacia abajo cuando pasa la onda, con un movimiento perpendicular a la dirección de propagación. Una vez que ha pasado la onda, cada parte vuelve a su posición original, sin haber sufrido ningún desplazamiento longitudinal. Las ondas de este tipo, cuyas variaciones se producen en dirección perpendicular a la de propagación, reciben el nombre de *ondas transversales*.

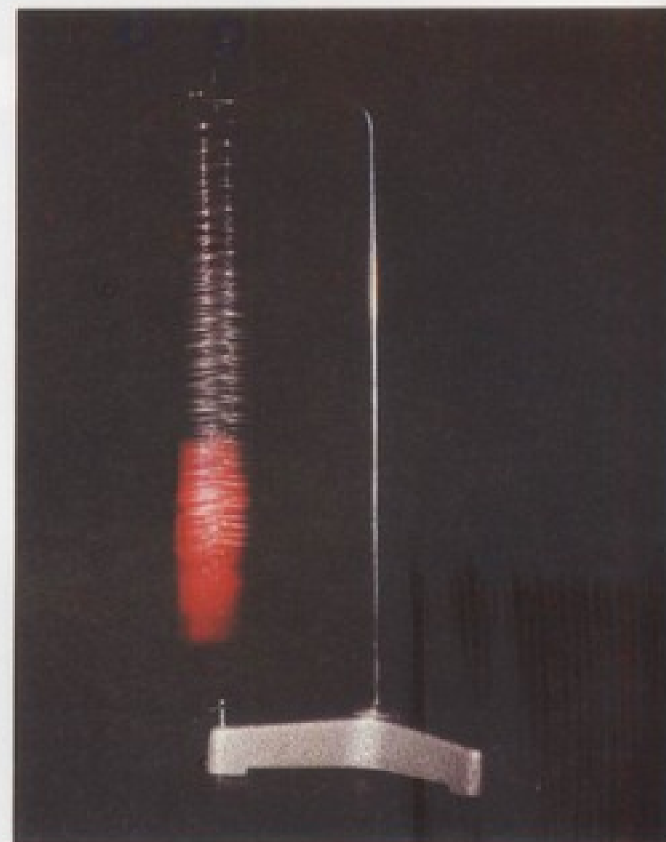
Imagínese ahora que, en vez de una cuerda, se sujeta con la mano un muelle largo en posición vertical: si se mueve la mano hacia arriba y hacia abajo se comprimirán progresivamente unas espiras contra otras, produciéndose otro tipo de onda, llamada *onda longitudinal* o *de compresión*. Lo que se desplaza en este caso a lo largo del muelle no es una curva, sino una zona donde las espiras están comprimidas, seguida de otra donde están separadas. En este tipo de onda la variación se produce hacia adelante y hacia atrás en la dirección de propagación de la onda, volviendo a su posición original cuando ha acabado la excitación. Las zonas de compresión y separación del muelle son análogas a la *cresta* y al *valle* de una onda transversal.

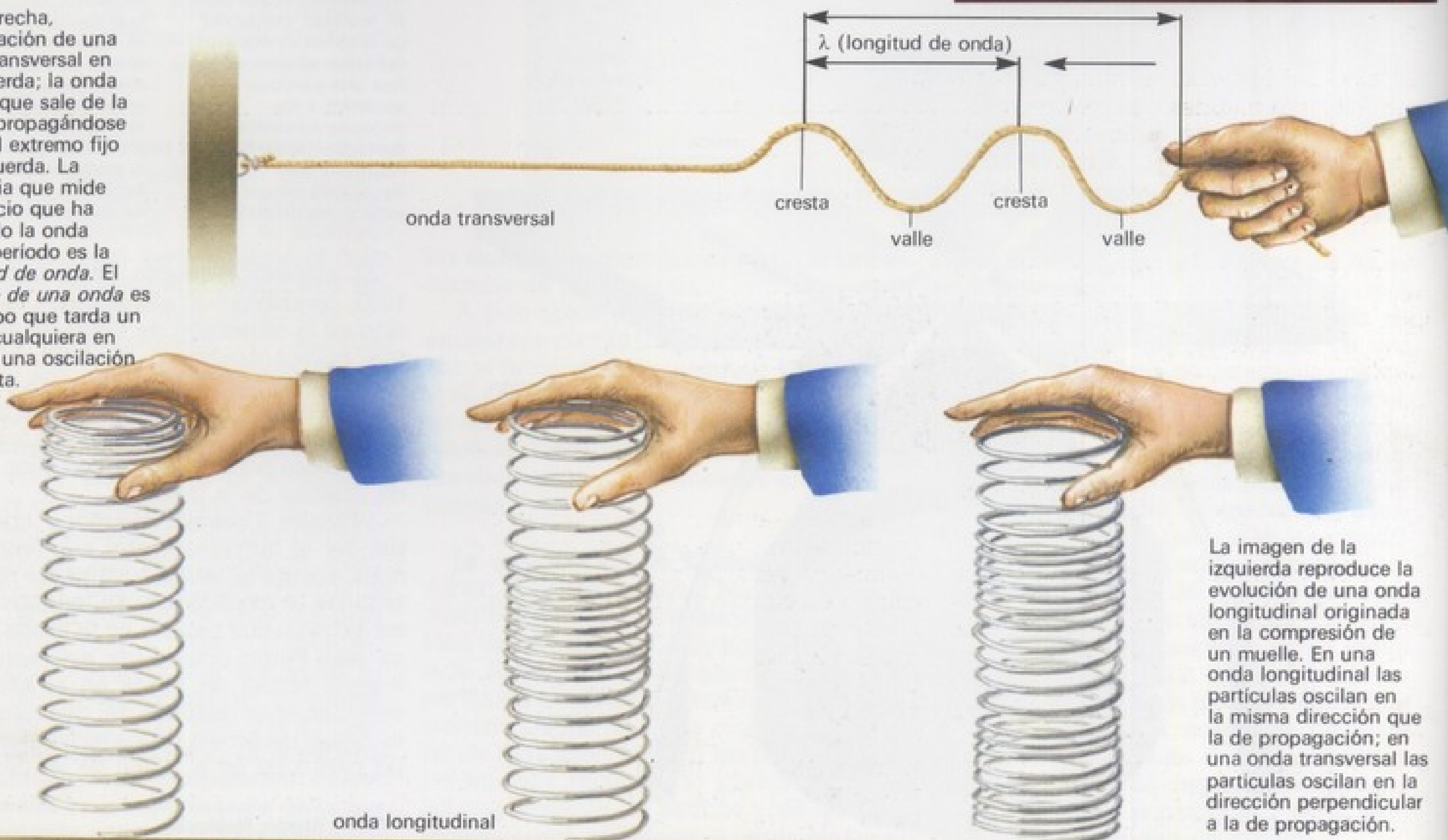
El mismo medio puede transmitir ondas tanto longitudinales como transversales: las olas de la superficie del mar son transversales, mientras que el sonido viaja por el agua en forma de ondas longitudinales. Los terremotos producen ondas de choque tanto longitudinales como transversales, que se propagan por la Tierra a velocidades y de modos distintos.

Velocidad, longitud de onda, frecuencia y amplitud Se llama *velocidad de la onda* a la rapidez con que se propaga. Las ondas sonoras viajan por el aire con una velocidad de unos 340 m/s, mientras que en el agua éstas se propagan con una velocidad aproximadamente cinco veces mayor y en el hierro casi quince veces más rápidamente. La temperatura del me-



El aparato de Pohl, en la foto de la izquierda, permite visualizar una onda transversal; consiste en una serie de bolitas situadas convenientemente en hilos metálicos rígidos, todos paralelos entre sí. Haciendo girar el dispositivo y proyectando su imagen sobre una pantalla, se ve claramente la forma sinusoidal de una onda transversal. En la foto de abajo se puede ver una onda de compresión en un muelle. Este tipo de ondas recibe el nombre de *ondas longitudinales*.



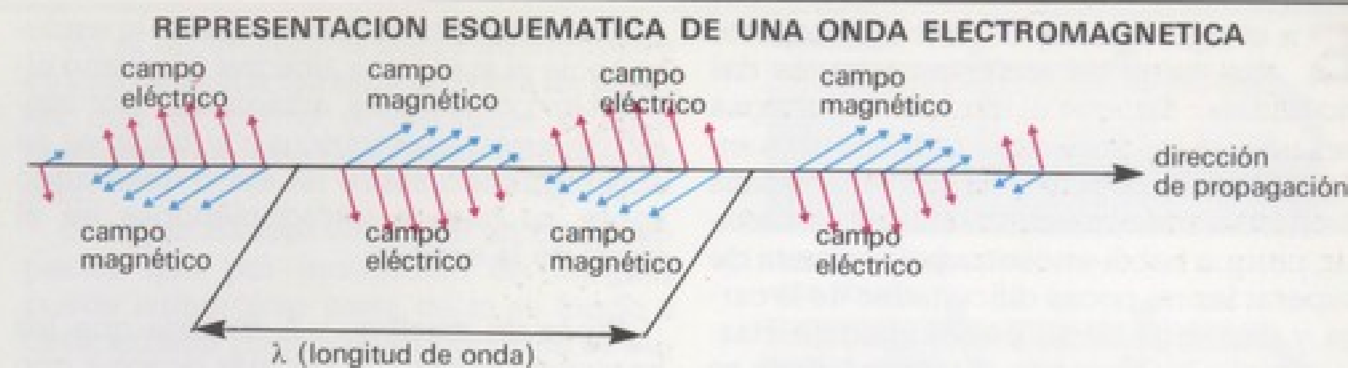


A la derecha, propagación de una onda transversal en una cuerda; la onda parece que sale de la mano, propagándose hacia el extremo fijo de la cuerda. La distancia que mide el espacio que ha recorrido la onda en un período es la *longitud de onda*. El *período de una onda* es el tiempo que tarda un punto cualquiera en realizar una oscilación completa.

La imagen de la izquierda reproduce la evolución de una onda longitudinal originada en la compresión de un muelle. En una onda longitudinal las partículas oscilan en la misma dirección que la de propagación; en una onda transversal las partículas oscilan en la dirección perpendicular a la de propagación.

dio también influye: así, en el aire a 20 °C el sonido se propaga a una velocidad de 344 m/s, pero la velocidad aumenta a 356 m/s cuando la temperatura sube a 39 grados centígrados.

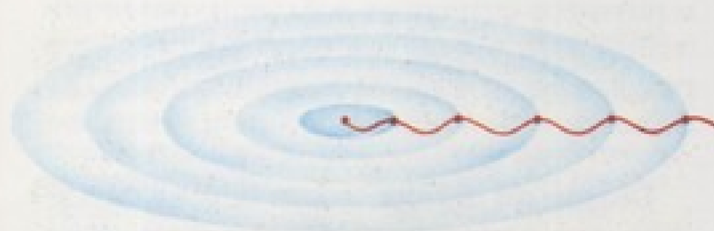
La *longitud de onda* es la distancia entre dos crestas (o zonas de máxima compresión en una onda longitudinal) o dos valles (o zonas de máxima expansión) de una onda. El tiempo que tarda la onda en realizar un movimiento completo, es decir, desde una posición hasta que se vuelve a obtener la siguiente posición igual, se llama *ciclo* (o *período*). La *frecuencia* de una onda es el número de ciclos de una onda que pasa por un punto en un determinado intervalo de tiempo. La *amplitud* de una onda es la altura de una cresta.

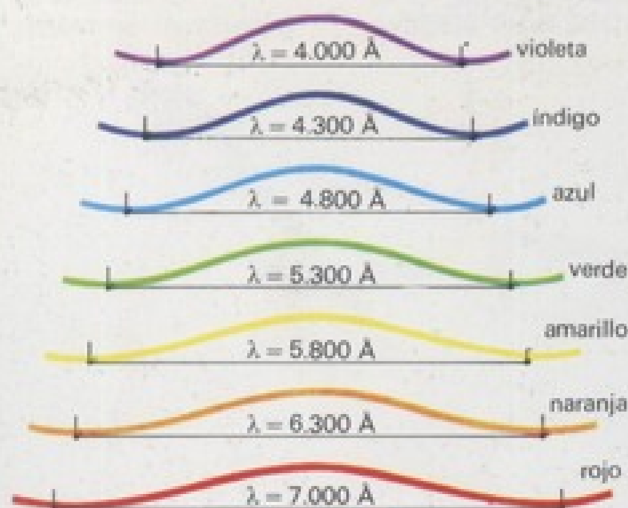


El dibujo de arriba representa la situación instantánea de los valores del campo eléctrico y del campo magnético, en los distintos puntos de una recta, de una onda electromagnética. El dibujo de la izquierda reproduce el modelo de propagación de una onda luminosa según la teoría ondulatoria: se propagaría en ondas concéntricas, como las que produce una piedra al tirarla a un estanque. Los distintos colores que componen la luz corresponden a radiaciones de longitud de onda distinta. En el esquema de abajo se puede ver la variación continua de las ondas electromagnéticas, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. El espectro de radiación visible se ha aumentado debajo del esquema: se trata de una pequeña zona dentro del espectro electromagnético.

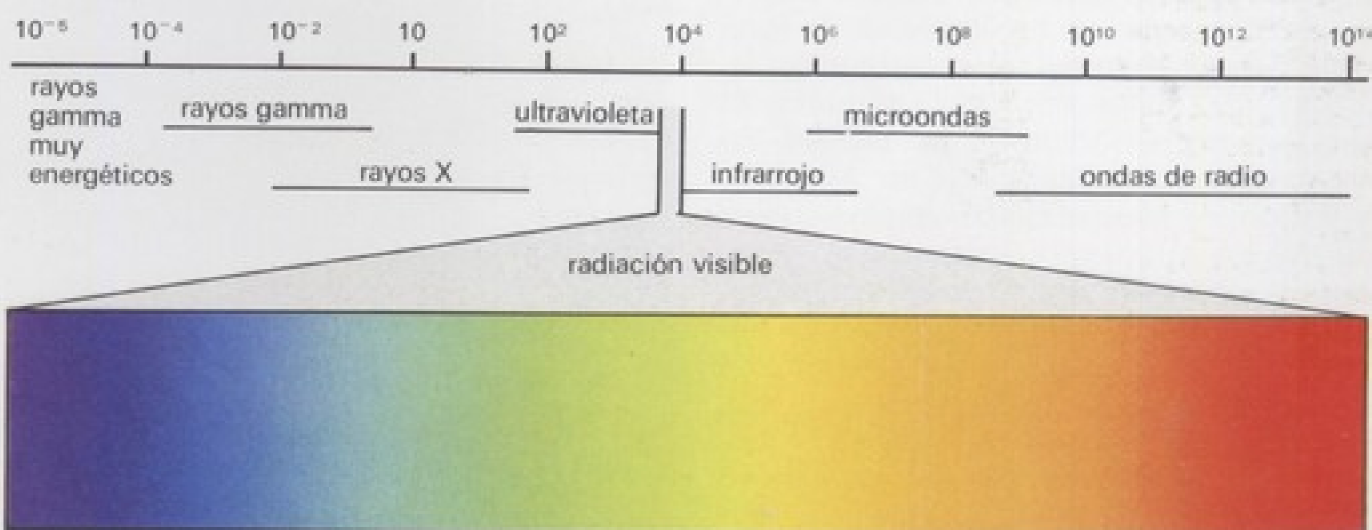
CLASIFICACION DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

Denominación	Orden de magnitud de λ	Fuente	Principales usos
ondas de uso industrial	>10.000 ÷ 100 km	osciladores electrónicos con tubo de vacío o transistor	industriales, telefonía directa
ondas muy largas (VLF)	100 ÷ 10 km	idem	calentamiento por inducción, navegación por radio
ondas largas (LF)	10 ÷ 1 km	idem	radiodifusión, navegación por radio
ondas medias (MF)	1 km ÷ 100 m	idem	radiodifusión en modulación de amplitud
ondas cortas (HF)	100 ÷ 10 m	idem	radiodifusión en modulación de frecuencia
ondas ultracortas (VHF)	10 ÷ 1 m	idem	radiodifusión, televisión (modulación de frecuencia)
microondas ultra altas (UHF) super altas (SHF) extrem. altas (EHF)	 1 m ÷ 10 cm 10 cm ÷ 1 cm 1 cm ÷ 1 mm	idem, hidrógeno interestelar klystrón, magnetrón, tubos de ondas progresivas	televisión, sistemas de radar
radiaciones infrarrojas	1 mm ÷ 1 μ	cuerpos calientes, moléculas	sistemas de radar, máser
radiaciones visibles	1 μ ÷ 1.000 Å	cuerpos muy calientes átomos, moléculas	máseres experimentales
radiaciones ultravioletas	1.000 ÷ 100 Å	átomos, descargas eléctricas y arcos voltaicos	calefacción, láser, fotografía de infrarrojos
rayos X	100 ÷ 0,01 Å	átomos en descargas eléctricas, bombardeo electrónico de sólidos	roentgenscopia, roentgenterapia
rayos gamma	0,1 ÷ 0,00001 Å	núcleos radiactivos, cuerpos celestes y material interestelar	gammascopia, radioisótopos





Velocidad, longitud de onda y frecuencia son las magnitudes que caracterizan a una onda, y además están relacionadas entre sí: la velocidad de una onda es igual al producto de la longitud de onda por la frecuencia.



Ondas acústicas y *luminosas* Las ondas sonoras son longitudinales y pueden viajar por medios sólidos, líquidos y gaseosos: las moléculas del medio se comprimen y se alejan alternadamente. Los sonidos tienen distintas frecuencias, y dependiendo de ellas son graves o agudos. El oído humano sólo puede oír los sonidos con frecuencias de la banda comprendida entre 20 y 20.000 vibraciones por segundo.

Las ondas de luz pueden propagarse en el vacío, lo que las diferencia de las ondas de la superficie del agua y de las acústicas. La luz se propaga en forma de onda como resultado de la interacción entre campos eléctricos y magnéticos; estos campos los producen cargas eléctricas y a su vez ejercen fuerzas sobre cargas eléctricas. Un campo eléctrico de intensidad variable produce un campo magnético también variable, con un desfase de 90 grados respecto al primero; este campo magnético variable produce a su vez otro campo eléctrico variable y así sucesivamente, de forma que los campos se suceden indefinidamente. Este fenómeno recibe el nombre de *onda electromagnética*: el nombre de *onda* se debe a que la fuerza (ó intensidad) de los campos eléctricos y magnéticos aumenta y disminuye de forma regular, como en las olas del mar. La longitud de onda de una onda electromagnética puede tener desde miles de kilómetros hasta cerca de 3×10^{-11}m. De todas ellas, el ojo humano puede ver solamente las que están aproximadamente entre 2 diezmilésimas y 2 cienmilésimas de centímetro.

Véase **Acústica; Electromagnetismo; Infrarrojos, rayos; Interferencia e interferometría; Luz; Microondas; Olas; Optica; Sonido; Ultrasonidos; Ultravioleta, radiación**

Muelle portuario

En el siglo III a. de C., Aníbal transportó una carga de elefantes a través del río Ródano. Aunque el transporte por agua sea una de las formas de traslado más antiguas utilizada por el hombre, la hazaña de Aníbal era ciertamente digna de señalar, porque había encontrado la manera de superar las no pocas dificultades de la carga y descarga de su pesado bagaje. Hasta el siglo XVI, cuando el término *dock* se utilizó en Inglaterra por vez primera para definir una dársena artificial, los marineros tenían que aprovechar las ensenadas creadas por las irregularidades naturales de la costa para poder efectuar las operaciones de carga y descarga de las mercancías resguardados del viento, de las mareas y también de los piratas. Al intensificarse la actividad comercial en el mar, en el siglo XVII, y debido a las cada vez mayores dimensiones de las embarcaciones para el transporte de mercancías de todo tipo, la construcción de los muelles alcanzó un apreciable desarrollo y se adaptó paulatinamente a las nuevas exigencias portuarias y a los adelantos de la tecnología. Los muelles están hoy en día equipados con los más modernos servicios y pueden acoger un notable tráfico comercial. Con las actuales instalaciones se controlan, con ayuda de ordenadores, superficies de trabajo de hasta 10 hectáreas aproximadamente.

Construcción El primer requisito para la construcción de un muelle es disponer de un área de terreno firme a lo largo de la costa lo suficientemente amplia como para permitir el movimiento de las cargas que vayan a ser expedidas. Para evitar corrimientos del terreno, se construye un muro de protección con cimentaciones en el fondo, por debajo de la superficie del agua. El material comúnmente utilizado es el hormigón, aunque durante muchos siglos se ha empleado la roca natural como material de construcción.

Hay que tener en cuenta también el movimiento periódico de las mareas. En áreas tales como Melburne, en Australia, y Boston, en Massachusetts, en las cuales las mareas son despreciables, no es necesario la construcción de diques cerrados, lo que permite la máxima libertad de navegación. Sin embargo, en otras áreas, especialmente a lo largo de la costa inglesa, donde la amplitud de las mareas o diferencia entre los dos niveles alcanza los 15 metros, existen muelles que son lo suficientemente elevados como para hacer frente a los niveles más altos de la pleamar y que pueden cerrarse por medio de esclusas durante el período de marea baja, manteniendo un nivel de agua suficiente para que los barcos puedan flotar. Las esclusas están cerradas por los dos lados mediante compuertas de doble hoja y, llenándose o vaciándose de agua, permiten el paso a los barcos. El nivel del agua dentro de la esclusa es mantenido a veces por medio de potentes bombas; en otros casos se utilizan canales, a través de los cuales el agua fluye desde la dársena cerrada hacia la esclusa o desde la esclusa hacia el mar hasta alcanzar el mismo nivel. Las compuertas, accionadas por medio de sistemas eléctricos o hidráulicos, se abren girando sobre un eje o deslizando sobre su base e introduciéndose en el muro de la esclusa.

Tipos de muelles A medida que los barcos empezaron a ser más largos y con tipos de cargamento más variados, los muelles y las áreas de carga aumentaron sus dimensiones y comenzaron a evolucionar, creándose proyectos donde se preveía la construcción de distintas áreas de carga, destinadas a satisfacer funciones específicas. En la actualidad, los proyectos para la construcción de muelles especiales están cada vez más estandarizados. Los muelles están, en su mayor parte, equipados con carriles para el desplazamiento de vehículos y de grúas y con áreas protegidas para el almacenaje de mercancías. Algunas cargas voluminosas, como el trigo y el petróleo, necesitan equipos especiales. Los buques-cisterna para el transporte de petróleo son tan largos que es económicamente más rentable disponer —bien sobre la superficie del agua o bien sumergidos— puntos de atraque exteriores al puerto (*pantalanes*), hasta donde llegan los oleoductos, en lugar de construir las obras de abrigo y los muelles pensando en estos grandes buques. Los buques-cisterna están equipados con sus propias bombas para facilitar las operaciones de carga y descarga.

El desarrollo más reciente en la navegación está caracterizado por el uso de contenedores estandarizados internacionalmente, que pueden transportar una gran variedad de mercancías no perecederas en un formato fácilmente manejable. Estos contenedores pueden ser introducidos o sacados de los buques por medio de camiones o vagones. Ya que no hay que manipular bienes individuales, el único requisito para el embarque de los contenedores es que los muelles tengan una superficie de 8 a 10 hectáreas y estén equipados con grúas suficientemente potentes para elevar los contenedores, que pueden llegar a pesar como máximo 40 toneladas.

Diques de carena Los diques de carena son espacios abrigados para dejar los buques en seco, a fin de ser carenados o reparados. Se distinguen dos tipos: secos y flotantes.

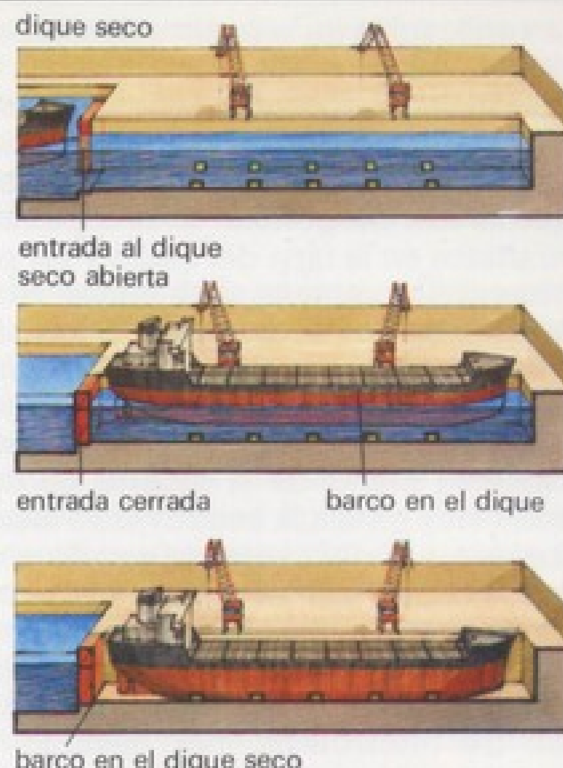


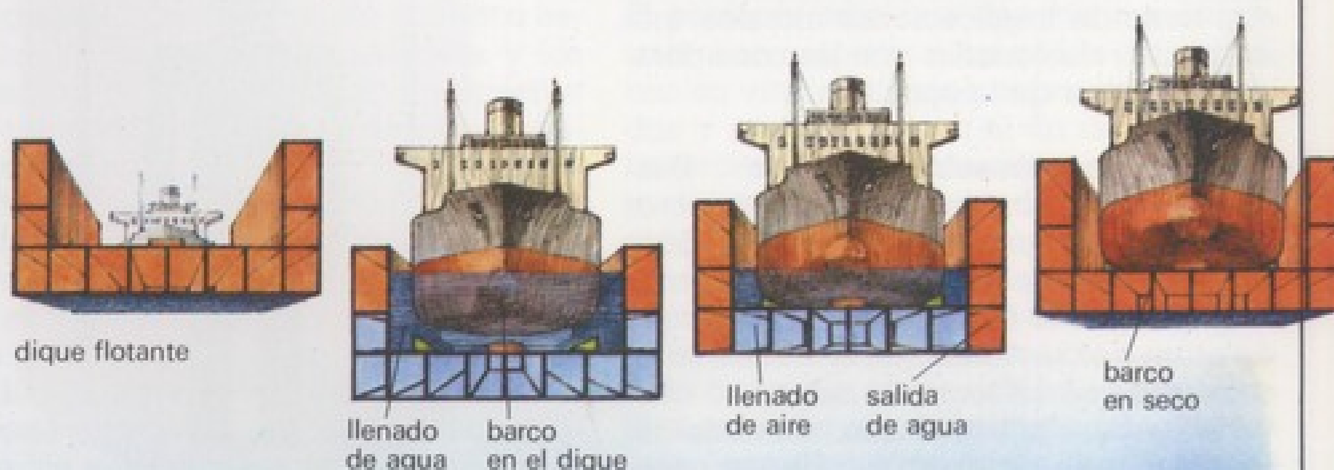
El muelle es el punto de conexión entre las operaciones de transporte por mar y las de transporte por tierra. Las operaciones de transbordo se pueden realizar en dos tiempos: en el primero se efectúa el movimiento barco-muelle, y en el segundo, el movimiento muelle-vehículo terrestre. Esto evita la necesidad de utilizar grúas con brazos excesivamente largos. Además, es posible tener a disposición en el muelle un mayor espacio para el movimiento de los vehículos terrestres. Bajo estas líneas, muelle con grúas-pórtico que permiten el paso de camiones por debajo, una grúa de gran tamaño para cargas excepcionales, un camión para contenedores y una pila de contenedores en espera de la carga. En los silos se almacenan mercancías tales como cereales a granel, que pueden cargarse y descargarse por medio de aspiración e insuflando aire comprimido en tubos flexibles o articulados. A la derecha, frente y perfil de dos tipos de diques de carena. El dique seco es una construcción a modo de esclusa provista de puerta móvil. Cuando el buque ha entrado, se cierra la puerta y se extrae el agua, de manera que el buque queda en seco y puede ser carenado. El dique flotante es una construcción constituida por un fondo y dos paredes laterales compuestas por tanques. Cuando los tanques están llenos de agua, el dique se sumerge y el barco puede entrar; vaciando los tanques, el dique emerge dejando el buque en seco. Este tipo de dique puede instalarse en un puerto o bahía de aguas tranquilas.

En el *dique seco* el barco se introduce en una pequeña dársena provista de puertas, que se cierran, achicándose el agua mediante bombeo hasta dejar el casco en seco.

El *dique flotante* consta de un casco especial, que por inundación de tanques puede sumergirse hasta dejar su fondo a determinada profundidad para que el buque a revisar pueda penetrar en su interior. Una vez dentro, se vacían los tanques mediante bombas; el dique recupera así su flotación, levantando con él al buque, que queda en seco. La ventaja de los diques flotantes es su posibilidad de desplazamiento de un puerto a otro.

Véase **Buque mercante; Puerto**



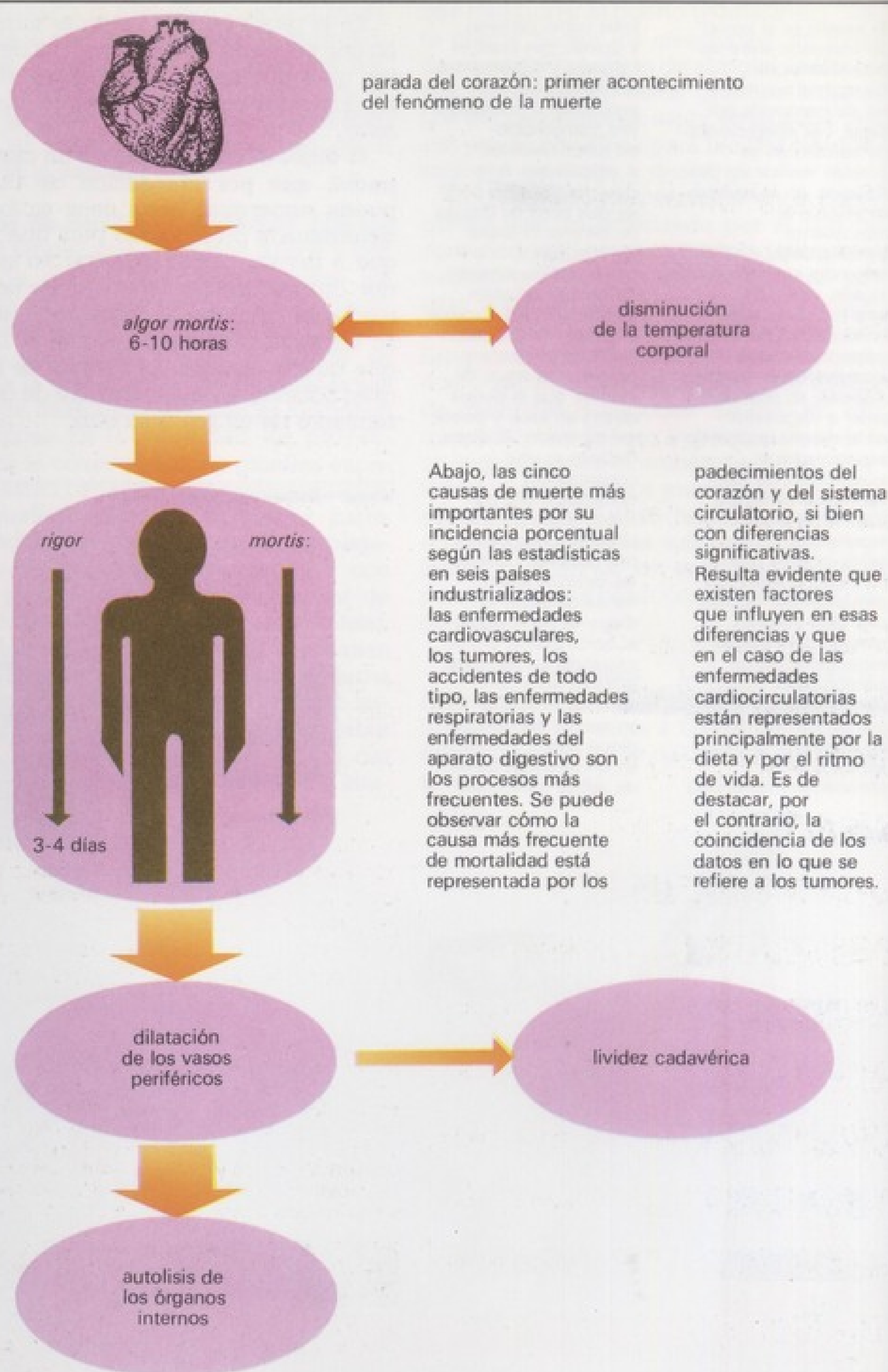


Muerte

La verificación de la muerte de una persona ha sido siempre un tema que ha suscitado grandes controversias. Se refieren historias terribles de personas sepultadas vivas, en estado de muerte aparente, que se han despertado en la sepultura: los arañazos en la tapa del ataúd y las posiciones contorsionadas de algunos cadáveres exhumados demuestran la posibilidad de que eso haya sido posible. Desde hace ya muchos años los médicos están buscando un modo seguro para el establecimiento cierto de la muerte de una persona. Hoy en día la controversia alcanza también a la definición de estado vital, ya que en las salas de reanimación muchos pacientes pueden ser mantenidos artificialmente con vida de modo indeterminado. Surge entonces la duda ante la decisión de interrumpir, por ejemplo, el aporte de oxígeno. El tema, naturalmente, está lleno de implicaciones morales, íntimamente relacionadas con las consideraciones acerca de la eutanasia.

La controversia sobre la muerte Desde el momento en que distintos pacientes en estado de coma han sido mantenidos con vida durante años con la utilización de respiradores, la determinación de lo que constituye el fenómeno de la muerte se ha convertido en un tema de debate.

Numerosos médicos han intentado definir la muerte en el ámbito de los conocimientos científicos actuales que han hecho reversibles varios procesos en otro tiempo irreversibles. Algunos sugieren que los pacientes en estado de coma deben ser considerados como muertos si el cerebro no muestra señales de actividad eléctrica, si no responden a estímulos externos y si son incapaces de respirar y de mover sus músculos. Otros médicos sostienen que estas condiciones deben persistir durante al menos veinticuatro horas antes de que el paciente pueda ser considerado como muerto. La actual ciencia médica ha logrado en algunas ocasiones devolver a la vida a personas que en tiempos pasados habrían sido consideradas como fallecidas. De este modo, con el pro-



Abajo, las cinco causas de muerte más importantes por su incidencia porcentual según las estadísticas en seis países industrializados: las enfermedades cardiovasculares, los tumores, los accidentes de todo tipo, las enfermedades respiratorias y las enfermedades del aparato digestivo son los procesos más frecuentes. Se puede observar cómo la causa más frecuente de mortalidad está representada por los padecimientos del corazón y del sistema circulatorio, si bien con diferencias significativas. Resulta evidente que existen factores que influyen en esas diferencias y que en el caso de las enfermedades cardiocirculatorias están representados principalmente por la dieta y por el ritmo de vida. Es de destacar, por el contrario, la coincidencia de los datos en lo que se refiere a los tumores.

LAS CINCO CAUSAS MAS IMPORTANTES DE MORTALIDAD (EN %)	FRANCIA	INGLATERRA Y GALES	REPUBLICA FEDERAL ALEMANA	REPUBLICA DEMOCRATICA ALEMANA	SUECIA	ESTADOS UNIDOS
ENFERMEDADES CARDIOCIRCULATORIAS	31,1	50,8	47,2	55,7	54,1	51,5
TUMORES	23	22	22,7	16,6	22,5	20,6
ACCIDENTES	8,8	3,5	6,6	6,3	6,9	8,2
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS	6,7	14,3	5,8	6,7	5,5	5,8
ENFERMEDADES DIGESTIVAS	6,1	2,5	5,5	4,3	3,6	3,6

Tras el fallecimiento, el organismo experimenta una serie de cambios irreversibles. Después de la parada del corazón se produce, en el transcurso de seis a diez horas, una progresiva pérdida del calor corporal, que conduce a la frialdad cadavérica. La rigidez cadavérica afecta progresivamente a los músculos de la mandíbula, cuello, tronco y extremidades. Durante este tiempo la sangre se ha coagulado. En el transcurso de tres o cuatro días se alcanza primeramente el rigor mortis o rigidez cadavérica y se produce también una dilatación de los vasos periféricos. La coloración se vuelve rojo-azulada y lívida. Se alcanza posteriormente un estado de laxitud de los músculos y de los tejidos que precede a la autolisis propiamente dicha, etapa de destrucción enzimática de las estructuras y órganos internos. Finalmente tiene lugar la putrefacción con desarrollo de gas, que se origina por la acción de las bacterias involucradas en este proceso.



greso de la Medicina, nuestros conceptos de "daño irreversible" deben continuamente ser puestos al día.

Las modificaciones que siguen a la muerte Después del fallecimiento se verifican en el cuerpo humano algunas modificaciones cuyo conocimiento son de gran ayuda para el descubrimiento de las causas de una muerte desconocida, y que ofrecen, por lo tanto, importantes elementos de juicio al médico forense. A causa de la práctica —ampliamente difundida en la actualidad— de los trasplantes de órganos procedentes de donantes recientemente fallecidos, es necesario que el médico conozca el momento exacto del deceso. Poco tiempo después del fallecimiento, efectivamente, la sangre comienza a coagularse; y apenas antes de que el fallecimiento tenga lugar, los ojos pierden la capacidad para responder a ciertos estímulos, la respiración natural cesa y los miembros, la boca y los labios adquieren una coloración azulada y el latido cardiaco se enlentece. El cuerpo se enfría, llegando a la temperatura del ambiente circundante. Este fenómeno se conoce con el nombre de *algor mortis*, y el grado con que se manifiesta depende del ambiente y de la cantidad de ropa que lleve el individuo. El *rigor mortis* o rigidez cadavérica está provocado por un endurecimiento de los músculos del organismo. Por lo general comienza entre las cinco y las diez horas después de que ocurra la muerte y afecta en principio a los músculos de la mandíbula. El *livor mortis*, es decir, el color rojo-azulado que aparece en las extremidades inferiores, surge como consecuencia del estancamiento de la sangre en las partes de mayor declive, debido a la fuerza de la gravedad.

La espera de la muerte Como proceso psicológico, la espera de la muerte ha sido estudiada desde hace algún tiempo con la intención de hacer el deceso menos doloroso para quien está destinado a morir y para sus familiares. Se pueden distinguir cinco fases típicas: primeramente se verifica una sensación de espanto y de incredulidad. Con frecuencia muchas personas rechazan el primer diagnóstico infausto y acuden de un médico a otro con la esperanza de obtener una opinión diferente. Una vez aceptado el diagnóstico, tiene lugar la segunda fase: de ira o rabia. El paciente se siente una víctima, un extraño con respecto a los que le circundan, con su vitalidad y que le prodigan cuidados y atenciones con el fin de ayudarle. La tercera fase se caracteriza por el intento de grangearse uno o dos años más de vida haciendo, por ejemplo, un acto de conversión religiosa. Más adelante el paciente se va dando cuenta de que su vida se está acabando y muchos caen en un estado de profunda depresión en este punto, a menudo rehusando las visitas de los seres queridos. Finalmente, la quinta fase es la de resignación.

Véase **Enfermedad; Medicina legal; Vejez**

Junto a estas líneas aparece una lista de las causas de muerte en un año, según los cálculos efectuados en Estados Unidos en 1981. El tabaco y las bebidas alcohólicas son origen del mayor número de fallecimientos, seguidos por los accidentes de tráfico y a notable distancia por las heridas por arma de fuego. Las cinco causas finales son, de este modo, poco significativas. La necesidad de definir la muerte estadísticamente, con todos los medios en todos sus componentes, revela la atención hacia el tema que existe desde siempre en el género humano, hasta el punto de haber inspirado a los artistas en todas las épocas. Tal es el caso de la escena pintada por el artista genovés Alejandro Magnasco.



Muestreo estadístico

En numerosas actividades —control de calidad, medidas de seguridad, demografía, investigación de la opinión pública, *marketing*, sociología electoral, etc.— se procede a tomar *muestras* y deducir a partir de su estudio el comportamiento de los conjuntos o, como dicen los estadísticos, de los *universos* o *poblaciones* de los que proceden las mismas.

Las ideas populares sobre el acierto de tal método son un tanto erróneas y hasta el refranero duda en torno a su propia posibilidad, cuando varía de decir que "por la muestra, si no hay engaño, veréis que tal es el paño" a sostener que "no se llame a engaño quien por la muestra escogió el paño". Lo cierto es que la Estadística moderna ha llegado a elaborar procedimientos rigurosos de estimación a partir del muestreo. Entiéndase que se trata del llamado *muestreo probabilístico*; es decir aquél en el que las muestras se toman al azar y se dan las circunstancias que permiten predecir la probabilidad de obtener cada una de las posibles. Este muestreo se diferencia del llamado, a veces, *intencional* u *opinático*, en el que la muestra se toma procurando que sea representativa y, por tanto, en base a alguna hipótesis más o menos subjetiva. Y también del llamado *muestreo sin norma*, que es el que se realiza a capricho o por razones de conveniencia; es el caso del sorbo de vino o el trozo de tela que se toman como elementos de prueba de la calidad de la partida a comprar.

La *estimación* y el *muestreo estadísticos* son absolutamente necesarios por la imposibilidad, o gran dificultad, de proceder al estudio exhaustivo de una población cuando ésta es infinita o muy grande, cuando el coste —en tiempo, dinero, etc.— lo hace prohibitivo o cuando el procedimiento de estudio de las características de cada elemento es destructivo (por ejemplo cuando se mide la resistencia a la rotura de piezas mecánicas), entre otras circunstancias.

Algunas definiciones básicas Una *muestra* es, simplemente, un subconjunto finito de elementos de la *población madre*. Su *tamaño* es el número de los mismos. A veces se habla de *pequeñas* y *grandes muestras*; naturalmente esta calificación es un tanto relativa, pero se suele referir en el primer caso a muestras con un tamaño inferior a 30 observaciones y superior en el segundo.

Cuando se hace un muestreo probabilístico mediante la toma de muestras aleatorias, o al azar, caben diferentes modos de realización. A continuación se citan algunos de las más importantes:

a) *Muestreo aleatorio con reemplazamiento*. Se trata de que, cada vez que se toman al azar los datos de un elemento éste se devuelve a la población (pudiendo, por tanto, ser tomado de nuevo). En este caso todas las unidades tienen la misma probabilidad de formar parte de la muestra. Si la población es infinita, aunque no haya reemplazamiento da lo mismo, ya que la cantidad de elementos es inagotable y, de hecho, la probabilidad de que uno de ellos entre en la muestra es independiente de cuales sean los elementos que ya figuran en ella.

b) *Muestreo aleatorio sin reemplazamiento*. En este caso todos los elementos tienen, igual que en el anterior, la misma probabilidad de ser elegidos en la muestra, pero en el supuesto de poblaciones finitas, la probabilidad de que entre un elemento adicional dado depende de los que ya figuran en ella. A este método y al anterior suele calificárseles de muestreo *aleatorio simple* o *equiprobabilístico*.

c) *Muestreo estratificado*. Consiste en que antes de realizar el muestreo la población se divide en subpoblaciones o *estratos*, caracterizados por cierto grado de homogeneidad, y la muestra total se subdivide en muestras parciales, tomadas aleatoriamente y procedentes de dichos estratos.

d) *Muestreo por conglomerados o áreas*. En este caso se sustituyen, para la realización del muestreo, los elementos unitarios por *conglomerados*, que agrupan un cierto número de ellos, son representativos de la población (y, por tanto, con un nivel de heterogeneidad análogo al de la misma) y se seleccionan luego al azar.

e) *Muestreo polietápico*. El muestreo *bietápico* es una modificación del muestreo por conglomerados. En una primera etapa se muestrea, eligiendo conglomerados, en una segunda se muestrea dentro de cada conglomerado. El muestreo *polietápico* es la generalización del bietápico, cuando se ha procedido a formar subconglomerados dentro de los conglomerados a varios niveles y en cada etapa se muestrea en uno.

f) *Muestreo multiple o polifásico*. Se llama *muestreo doble* o *bifásico* al que consiste en tomar una primera muestra (generalmente grande y de forma sencilla y fácil) para estimar una cierta característica y luego, aprovechando dicha información, tomar otra muestra y estimar la característica deseada en detalle. Naturalmente la primera característica tiene que ser fácil de estimar y estar relacionada con la segunda. Se dice que el muestreo es *múltiple* o *polifasico* cuando en vez de dos muestras se hacen tres o más.

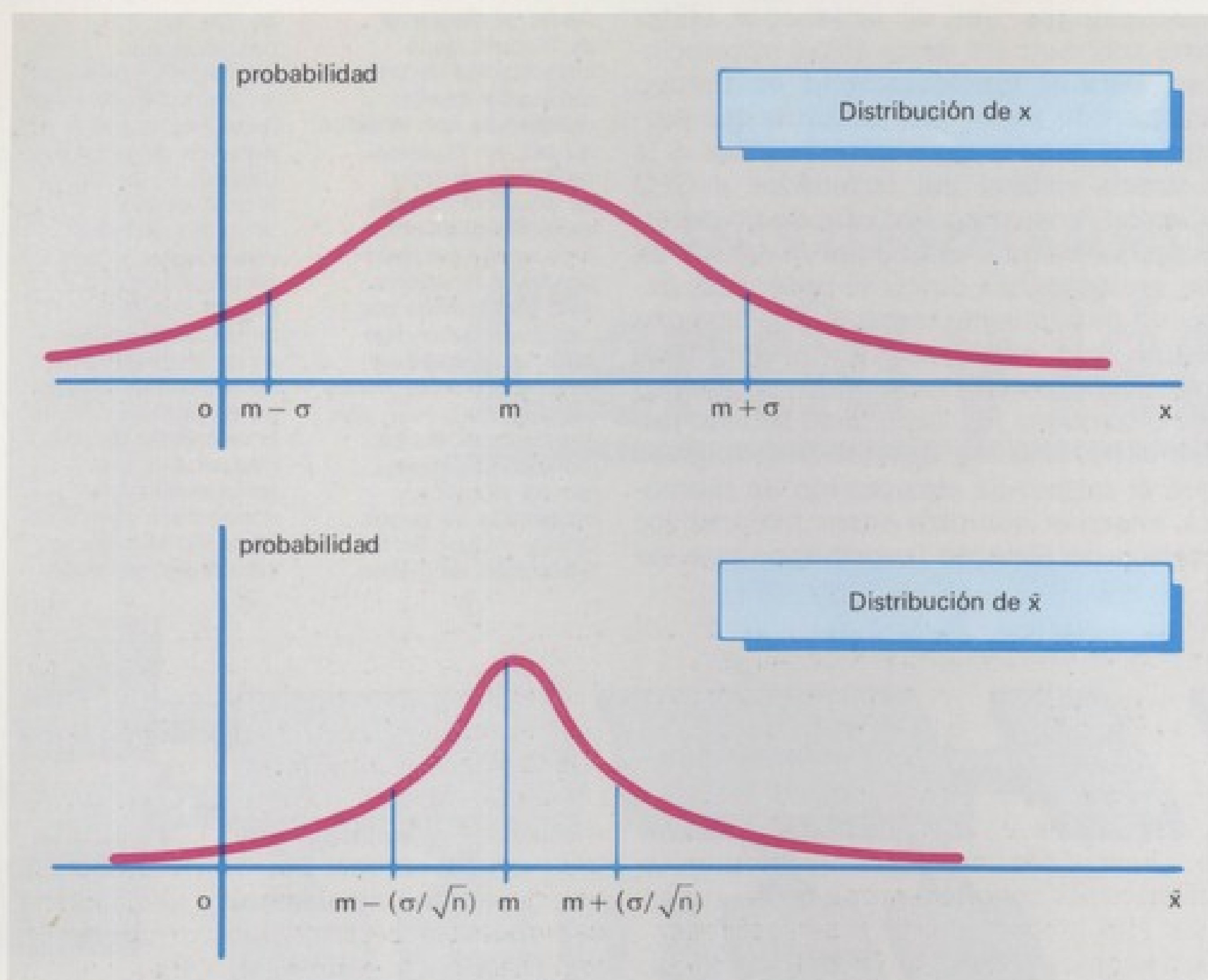
Existen otros muchos tipos particulares de muestreo menos corrientes. También existen métodos especiales como el llamado *secuencial* (de interés en muchas aplicaciones); consiste en que el tamaño de la muestra no está prefijado de antemano, sino que la observación *n*-ésima se añade a la muestra de tamaño *n-1* tras haber hecho la estimación correspondiente a la misma y haber tomado la decisión, de acuerdo con algún criterio estadístico, de continuar muestreando para mejorarla.

Muestreo estadístico y Cálculo de probabilidades El muestreo es una técnica fundamental en Estadística. Conviene señalar en él diferentes aspectos. En primer lugar, el objeto del trabajo —demográfico, económico, etc.— condiciona fundamentalmente el problema. Por otra parte, el tipo de uso estadístico —estimación de un cierto parámetro, constraste de una hipótesis, etc.— es también un aspecto determinante. Ambos introducen ciertos factores de caracter empírico y pragmático en las técnicas de muestreo y, por añadidura, hacen que éstas tengan una fuerte componente heurística. Naturalmente, queda una principalísima dimensión matemática o, si se prefiere, probabilística, que se va a poner de relieve a continuación.

Considerada una población estadística, cuyos elementos tienen una cierta característica (por ejemplo altura, peso, etc.), ésta es obviamente una variable aleatoria, es decir, no se sabe el valor exacto que la misma va a tomar para un elemento, pero se puede predecir la probabilidad de que éste esté en un cierto intervalo ¿por qué? Porque se podría, al menos idealmente, conseguir, por consideraciones teóricas, o mediante obtención empírica de la ley de frecuencias de la población, su distribución probabilística. Por otra parte, si en vez de la variable aleatoria, x, de la citada característica, se toman en consideración muestras de tamaño n, formadas por los valores $(x_1, x_2, ..., x_n)$, cada muestra concreta es una colección de n valores numéricos, pero la muestra genérica es también una variable aleatoria vectorial n-dimensional. Es más; supuesta conocida la distribución de x, es posible calcular la de $(x_1, x_2, ..., x_n)$. Por ejemplo en la hipótesis de que el muestreo fuera con reemplazamiento (o la población infinita) la distribución n-dimensional de la muestra es simplemente el producto de n distribuciones iguales a la de x pero, en las variables x_1, x_2, ..., x_n (por ser éstas variables aleatorias independientes).

Bien; si ahora se supone que se estudia, por ejemplo, un *estadístico* de la muestra, tal como la media, $\bar{x} = (1/n)\, \Sigma\, x_i$, o la varianza, $s^2 = (1/n)\, \Sigma\, (x_i - \bar{x})^2$, muestrales, éstas son, a su vez, variables aleatorias (funciones de las variables aleatorias x_1, x_2, ..., x_n). Se plantea, entonces, estudiar las distribuciones probabilísticas de estas variables aleatorias y analizar cómo de las mismas pueden sacarse consecuencias sobre los estadísticos de la población madre (que son números desconocidos que quieren estimarse). El primer problema, típico de la teoría probabilística de muestras, es propio del muestreo estadístico, el segundo es el problema básico de la teoría de la estimación.

Distribuciones en el muestreo Al estudiar las características muestrales como variables aleatorias se pueden plantear varios supuestos. Por ejemplo, dadas unas de las más sencillas, $\bar{x}$ y s, se quiere saber cuales son los estadísticos de éstas. Más complicado es que se quiera saber su distribución probabilística aproximada para tamaño n grande, que es la llamada *distribución asintótica*. O, más difícil todavía, que se pretenda conocer la forma exacta de la distribución probabilística para cual-



Si una variable aleatoria x tiene una distribución de probabilidad con una media m y una desviación σ, la media muestral, $\bar{x}$, de tamaño n, es una nueva variable aleatoria que tiene una distribución con la misma media, m, y con $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ como desviación típica. Además si la distribución original es normal también lo es la de la media muestral.

quier tamaño. Tratemos de indicar las vías de solución de estos tres problemas.

El primero es fácil; $\bar{x}$ es una variable aleatoria combinación líneal de las x_1, ..., x_n. Si se calcula su esperanza y su varianza se tiene (usando que la media de la suma es la suma de las medias y la varianza de la suma es la suma de las varianzas) que:

$$E(\bar{x}) = m \qquad D(\bar{x}) = \sigma/\sqrt{n}$$

siendo m y σ la media y la desviación típica de la variable aleatoria primitiva e indicando con las operadoras E y D la operación de calcular la media (o esperanza matemática) y la desviación típica respectivamente.

En el caso de s los cálculos son más complicados; por ejemplo su media cumple que:

$$E(s^2) = \frac{n-1}{n}\sigma^2 \quad ó \quad E\left(\frac{n}{n-1}s^2\right) = \sigma^2$$

(si n es el tamaño de la muestra y σ^2 la varianza de la población madre).



En la sociedad actual es muy usual recurrir a las encuestas de opinión. Sus fines pueden ser muy variados —*marketing*, sociología y geografía electoral, hábitos de consumo, etc.—, como también son muy diversos algunos aspectos de la metodología con que se realizan. Sin embargo, la teoría estadística en que se basan, y que sirve para diseñarlas y obtener resultados de las mismas, es idéntica en todos los casos.

Los anteriores resultados, generalizables en cierto modo, ya tienen una consecuencia importante: la media muestral, $\bar{x}$, es una variable aleatoria tal que tiene por media la de la población madre, m, distribuyéndose alrededor de ella con una desviación típica mucho menor, $\sigma/\sqrt{n}$, que la de aquélla. Por ello $\bar{x}$ es un *buen* estimador de m. Análogamente $\sqrt{\frac{n}{n-1}}\, s$ lo es de σ.

Cuando, en vez de $\bar{x}$ y s, se trata de otros estadísticos puede ser difícil hallar su media y su desviación. Por otra parte pudiera suceder que la relación de éstas con las características de la población original fuesen más complejas y menos útiles.

El segundo problema: ¿cuál es, al menos aproximadamente para n grande, la distribución de la característica? Puede responderse, bajo ciertas condiciones, mediante el recurso a los teoremas de convergencia del Cálculo de probabilidades.

Volviendo al caso elemental de $\bar{x}$ resulta que, aplicando el teorema central del límite, puede obtenerse que, para n grande, que la misma, suma de n variables aleatorias independientes $x_1, x_2, ... x_n$ dividida por n, tiene una distribución asintóticamente normal (es decir que se aproxima a una normal tanto más cuanto mayor sea n), precisamente de media m y desviación $\sigma/\sqrt{n}$.

Si se trata de características más sofisticadas es más difícil llegar a conclusiones de este tipo; sin embargo, en muchos casos y bajo condiciones muy generales, puede admitirse, por ejemplo, que los momentos de cualquier orden son asintóticamente normales. Este último resultado es muy importante por la facilidad que introduce en los cálculos y por el hecho de existir tablas de la distribución normal, pero, sobre todo, porque *es independiente de cuales sean las distribuciones* (seguramente desconocidas total o parcialmente) de la población original.

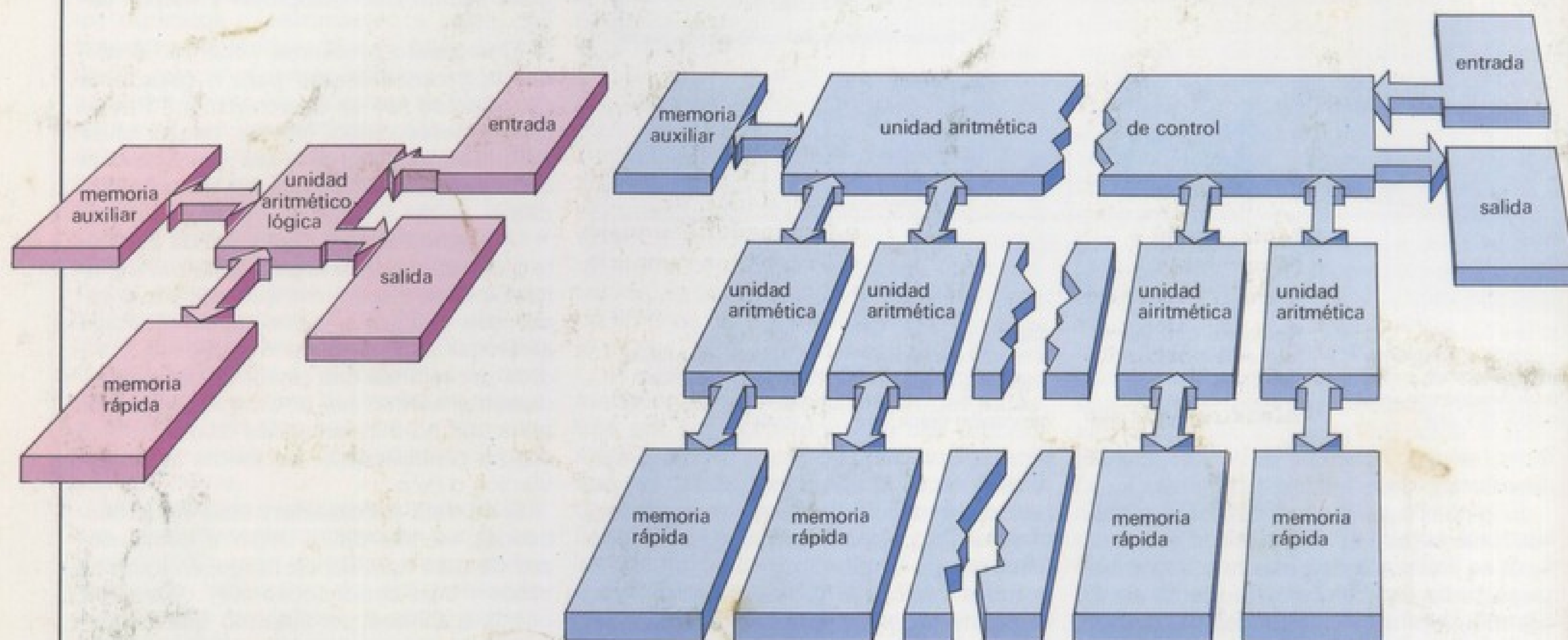
El último problema es el más difícil. Aun conociendo la distribución de x, y por tanto la de $(x_1, x_2, ... x_n)$, puede ser un problema arduo el cálculo de las distribuciones exactas de características tan simples como $\bar{x}$. Las llamadas *distribuciones exactas en el muestreo* pueden, sin embargo, obtenerse en determinados casos, por lo general cuando las distribuciones de las variables originales son simples (muy especialmente en el caso de que sean *normales*). Así los teoremas de adición de variables normales conducen a resultados tan sencillos como el siguiente: si la distribución de x es normal de media m y desviación σ, la de la media muestral $\bar{x}$ es también normal de media m y desviación típica $\sigma/\sqrt{n}$.

Véase **Contraste de hipótesis; Estadística; Estadística descriptiva; Estimación estadística; Probabilidad; Teoría de la decisión**

Multiprocesamiento

La evolución de los ordenadores ha sido rápida y segura: son capaces de realizar funciones cada vez más complejas y de asegurar una fiabilidad operativa cada vez mayor. Hace tiempo, un determinado ordenador podía operar únicamente sobre un programa cada vez. Uno de los primeros grandes avances en el desarrollo de los ordenadores fue la realización de procesadores capaces de ejecutar varios programas simultáneamente. Hoy en día existen ordenadores capaces de procesar cientos de programas a la vez, o con más exactitud, tan rápidamente que dan la impresión de simultaneidad. Estos ordenadores reciben el nombre de *multiprocesadores*.

Abajo, el diagrama de bloques de la organización de un ordenador normal comparado con la del *ILLIAC IV*, el primer ordenador dotado de arquitectura para multiprocesamiento. Este estaba formado por 64 ordenadores que, gobernados por uno jerárquicamente superior, trabajaban en paralelo sobre trozos del problema. Hoy, con el bajo coste de los microprocesadores, por ser circuitos integrados, se puede pensar incluso en la realización de grupos de diez mil procesadores paralelos. La dificultad en la difusión de estas máquinas está más en disponer de programas capaces de subdividir el problema en unidades parciales para asignar a cada procesador. En la página siguiente, arriba, multiproceso en un problema de aerodinámica. Debajo, un ejemplo de cálculo: la valoración de una integral definida aproximadamente, donde cada una de las áreas elementales se calcula por separado.



Unidades centrales y programas únicos Los primeros grandes ordenadores, desarrollados en los años 40 y 50, operaban por lotes (*batch*), es decir, se cargaban con una serie de datos e instrucciones, o programas, de forma que procesaban los datos introducidos en el momento deseado. Trabajaban, por tanto, con un programa único, en forma *batch*, hasta que terminaban completamente el proceso. Algunos programas necesitaban minutos, otros, semanas, y, a pesar de ser muy útiles, estas máquinas tenían limitaciones debidas principalmente a la ocupación de toda la capacidad del sistema por un único programa cada vez.

Utilización del tiempo compartido El *time-sharing*, o utilización de un gran sistema de proceso por parte de un determinado número de usuarios simultáneamente, conectado por línea telefónica u otro sistema, ha sido la primera utilización práctica de los multiprocesadores. La verdadera memoria electrónica de los primeros procesadores en tiempo compartido (*time-sharing*) era esencialmente igual a la que utilizaba la máquina en su trabajo en forma *batch*. Lo que las diferenciaba era el *software*, es decir, el conjunto de instrucciones que el ordenador utiliza para procesar los datos. Estas instrucciones, para el funcionamiento en tiempo compartido, se realizan de forma que permiten el acceso de varios usuarios a la memoria central del ordenador o CPU (*Central Processing Unit*). Existe un determinado código a utilizar por cada uno de los usuarios para dirigir el ordenador hacia un determinado terminal. Los usuarios forman una "cola" o línea de espera para aprovechar toda la capacidad de proceso del ordenador. Por tanto, si un usuario desea acceder a los datos meteorológicos que él mismo ha almacenado en memoria, mientras que otro desea conocer los precios de almacén (suponiendo que los datos de ambos usuarios están almacenados en el mismo sistema), el ordenador conectará al primer usuario y, en los intervalos libres, al segundo para realizar las operaciones respectivas pedidas. Como muchos ordenadores pueden realizar más de un millón de operaciones por segundo, los usuarios pueden tener la impresión de que obtienen inmediatamente las informaciones respectivas aunque en realidad el ordenador opera secuencialmente. El ordenador realiza toda la secuencia de operaciones de acuerdo con sus programas internos, preparados para procesar los datos de la forma más eficiente posible. Cuando un usuario desea efectuar una operación muy simple con sus datos, mientras otro realiza una serie de operaciones que lleva mucho tiempo, el ordenador procesará primero la operación más simple, interrumpiendo el proceso más complejo, de forma que no se ocupe excesivamente la CPU con un único programa.

La informática distribuida La informática distribuida es el desarrollo más reciente del multiprocesamiento. Se trata de la utilización conjunta de más de una CPU para formar un sistema de procesamiento capaz de atender a muchos usuarios. La ventaja de la informática distribuida está en que se puede montar gradualmente un potente sistema de procesadores con una inversión inicial de capital menor que la necesaria para la adquisición de una única unidad central de proceso. Si un sistema de informática distribuida tiene cuatro CPU y una —o incluso dos— de ellas se estropea, el sistema puede seguir funcionando, aunque con un nivel de productividad reducido o degradado. Por ejemplo, los sistemas de informática distribuida tienen tres o más CPU, y seis o más terminales conectados a ellas. Las CPU tienen que tener —además de todos los programas necesarios para el proceso de datos— programas complejos para mandar los pedidos a las distintas CPU y transferir los datos de entrada y salida entre los terminales y las unidades centrales. Por su versatilidad y utilidad en el ámbito de organizaciones modernas, este nuevo tipo de multiprocesamiento está entre los de más rápida evolución en el mundo de los ordenadores.

Véase **Investigación operativa; Ordenador; Ordenador, programas; Ordenador, unidad central de proceso**

estado
de cálculo
de cada elemento

agrupamientos
de las sumas parciales

subdivisión
para el cálculo
de una integral definida

elemento
de la
subdivisión
asignado, para
su cálculo, a un
único procesador

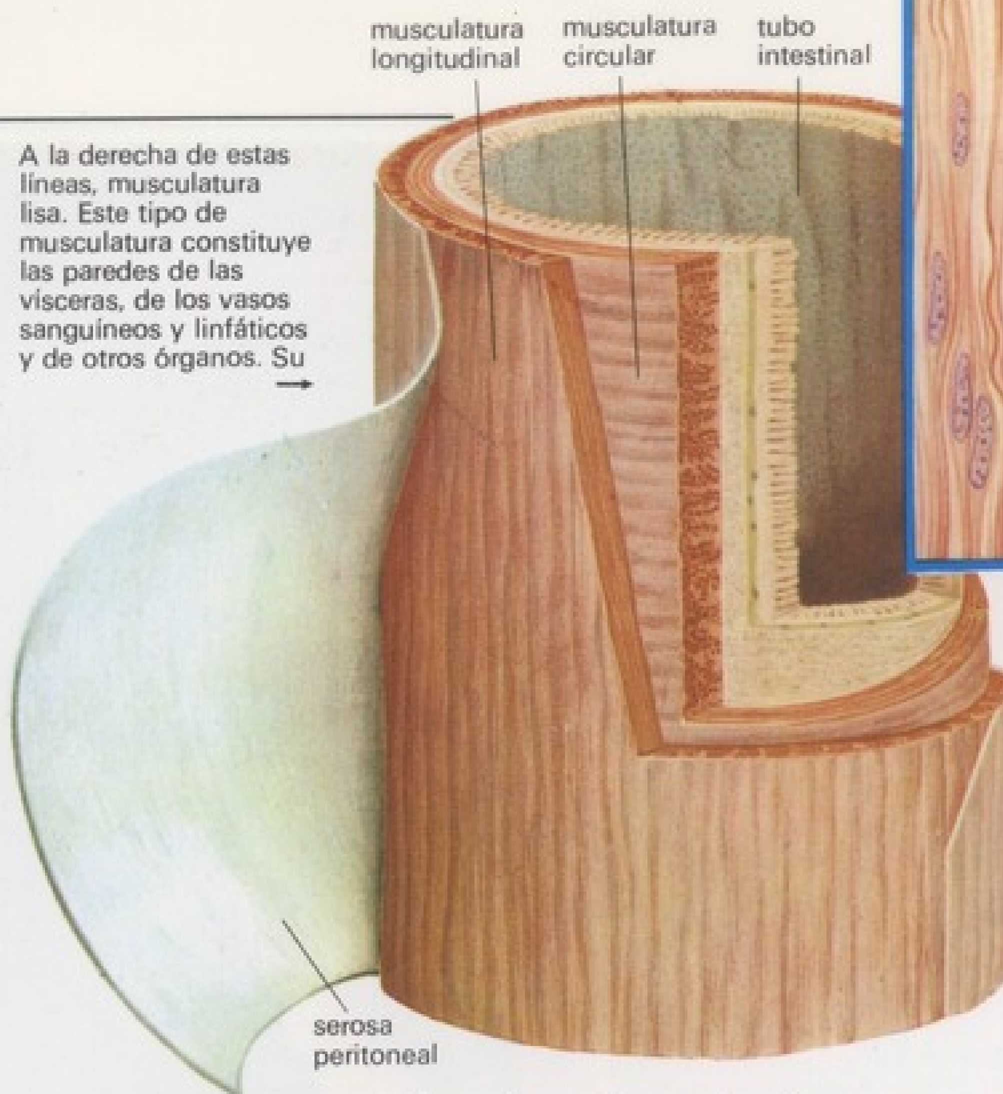
obtención del
resultado final

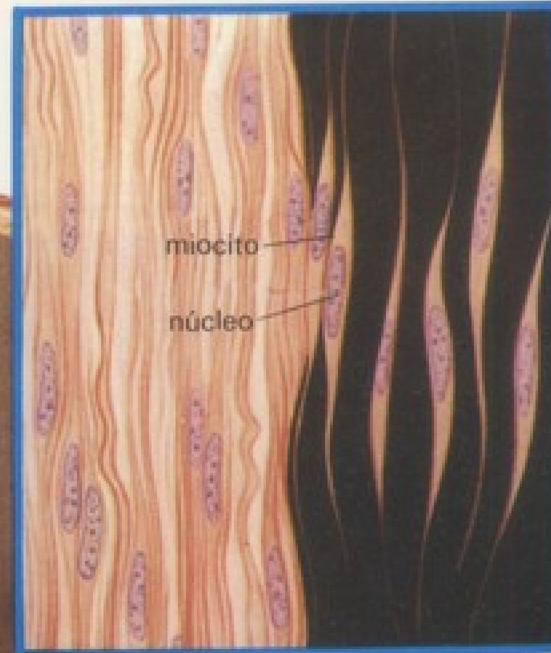
Músculo

Cuando flexionamos un brazo para rascarnos una oreja, el movimiento que realizamos es veloz y automático. Para llevarlo a cabo, utilizamos el músculo bíceps, un grueso fascículo de fibras musculares situado en la parte superior del brazo. Este simple movimiento es la consecuencia de una contracción muscular, y sin embargo requiere de una larga serie de procesos eléctricos, químicos y físicos necesaria para que muchísimas moléculas trabajen simultáneamente en la contracción.

Los músculos están constituidos por un tejido especial que se contrae al ser estimulado y que forma fibras musculares, reunidas en fascículos de muy diversos calibres envueltos por vainas de tejido conjuntivo. La contracción muscular es fruto de la contracción de cada una de las miofibrillas que dan al tejido muscular su característica estriación longitudinal. Todos los animales de complejidad superior a la de las esponjas están dotados de músculos o de órganos similares. En el hombre los músculos sirven principalmente para la locomoción, pero también desempeñan otras funciones vitales, como la de bombear la sangre a todo el organismo y la de facilitar el recorrido del alimento a lo largo del aparato digestivo.

Tipos de músculos El músculo cardiaco, estriado, es el tejido del que se compone el corazón y es único en el organismo. Se contrae de modo involuntario, sin que su acción esté bajo el control del sistema nervioso central. Los músculos lisos se encuentran en las paredes de los vasos sanguíneos, del intestino, del estómago y otros órganos. Su contracción, como la del músculo cardiaco, es involuntaria y relativamente lenta (un buen ejemplo lo constituyen las contracciones del estómago, que impulsan el alimento al intestino durante la digestión; cuando el estómago está vacío, estas contracciones provocan los "ruidos" del estómago). El peso de nuestro organismo está constituido en un 50% por músculo estriado o esquelético. Estos músculos están unidos a los huesos por medio de los tendones y su contracción, que es voluntaria, nos permite realizar movimientos.



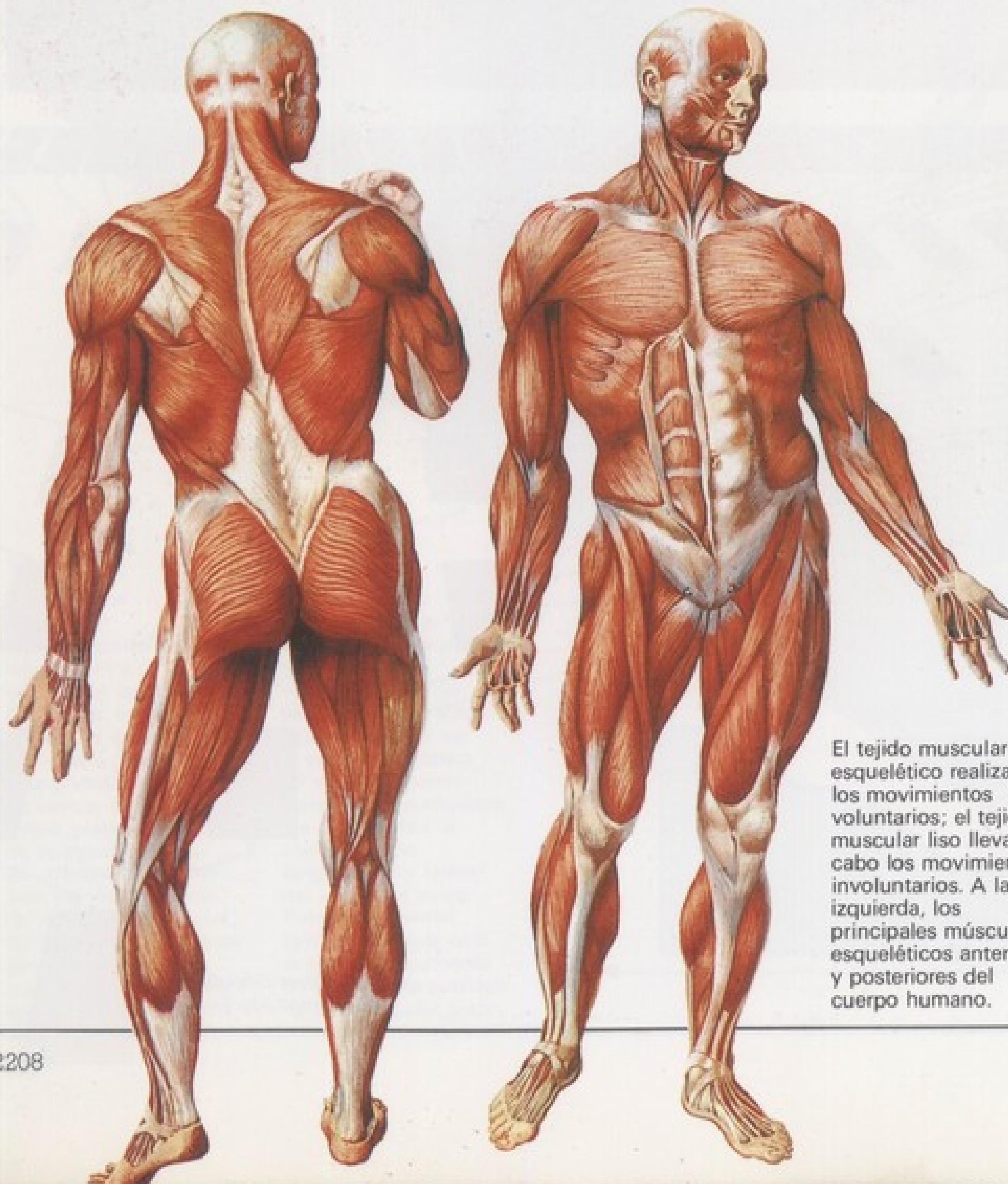


A la derecha de estas líneas, musculatura lisa. Este tipo de musculatura constituye las paredes de las vísceras, de los vasos sanguíneos y linfáticos y de otros órganos. Su → particular estructura, en efecto, está perfectamente adecuada a la función de estos órganos. En el recuadro se detalla el tejido muscular liso en su estructura microscópica. Está constituido por células fusiformes (miocitos lisos), con los núcleos situados en la parte central.

Músculo estriado o esquelético El músculo bíceps, por volver al ejemplo antes mencionado, está formado por un grueso haz de fibras irrigadas por la sangre (que proporciona al músculo oxígeno y nutrientes); es un músculo rico en terminaciones nerviosas, a través de las cuales le llegan los "mensajes" procedentes del sistema nervioso central, y también posee terminaciones sensitivas que controlan las contracciones y que envían impulsos eléctricos al cerebro.

Cuando decidimos elevar una mano, el cerebro, a través de los nervios motores, hace llegar a cada fibra muscular los impulsos bioeléctricos necesarios. Cada fibra, que en definitiva es una célula muscular, tiene una longitud de unos 2,5 cm y un diámetro de 0,02 a 0,08 mm. La célula muscular, o *miocito*, está dotada de muchos núcleos y de *mitocondrias* características, que son organelos intracelulares en los que se sintetiza la molécula de trifosfato de adenosina o ATP. El miocito posee además una membrana celular muy peculiar. Esta membrana está provista de un sistema hidráulico microscópico que hace circular los iones calcio (Ca^{2+}) a través de unos canales que comunican el interior de la célula con el exterior. Los flujos de calcio están determinados por los impulsos electroquímicos procedentes de los nervios.

Las miofibrillas Cada fibra muscular está constituida a su vez por multitud de unidades mucho más pequeñas, denominadas *miofibrillas*. Las miofibrillas, por su parte, están formadas por dos tipos de proteínas, llamadas *actina* y *miosina*, que se agrupan ordenadamente constituyendo los *llamados miofilamentos*. Estos miofilamentos son de distintas dimensiones:



El tejido muscular esquelético realiza los movimientos voluntarios; el tejido muscular liso lleva a cabo los movimientos involuntarios. A la izquierda, los principales músculos esqueléticos anteriores y posteriores del cuerpo humano.

así, los que forma la miosina son gruesos, mientras que los formados por la actina son delgados.

Los miofilamentos se disponen paralelamente entre sí y pueden deslizarse unos sobre otros dando lugar a la contracción muscular.

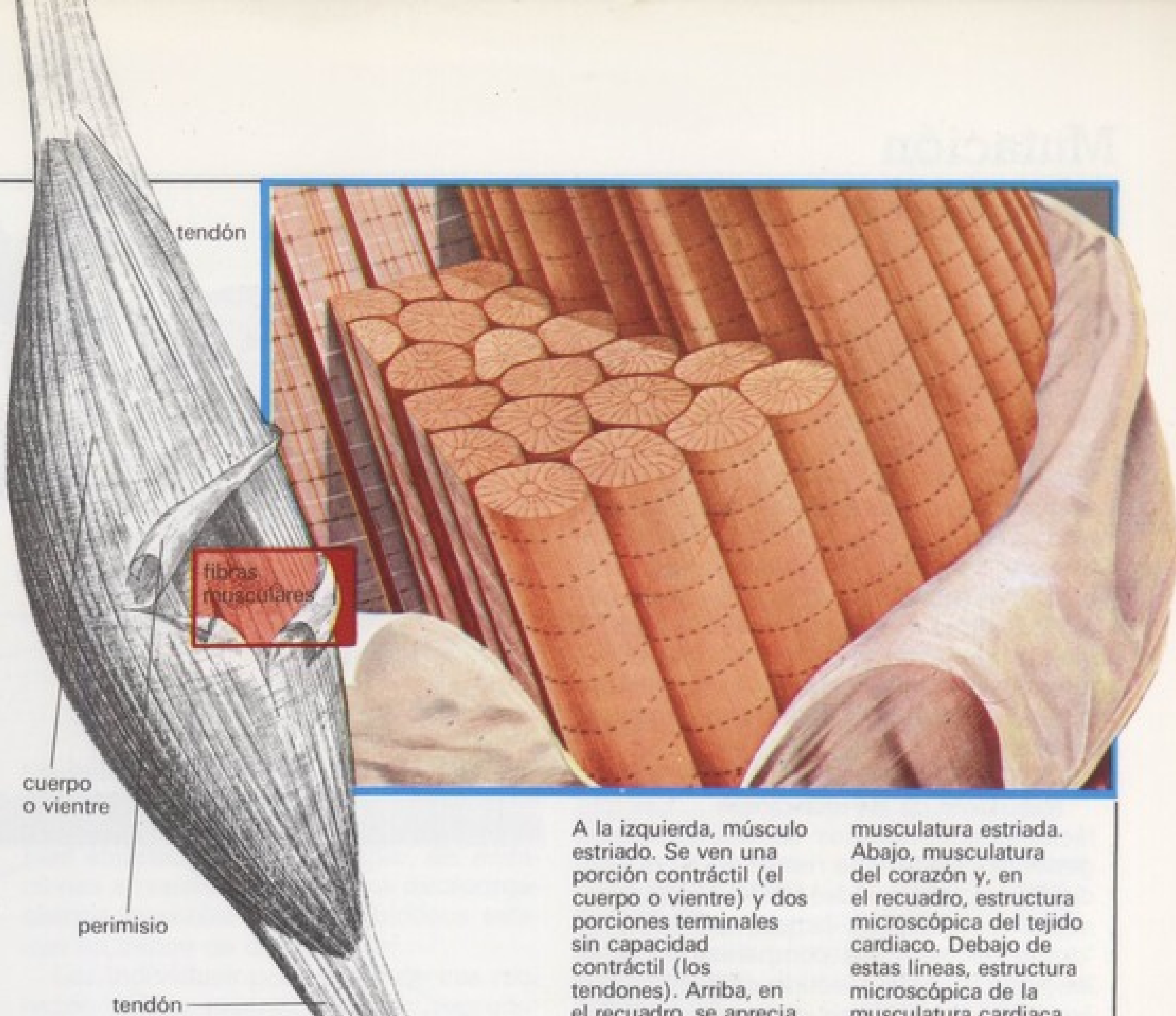
Para comprender mejor esta situación, imaginemos dos cepillos, uno de ellos de cerdas finas y el otro de cerdas algo más gruesas, engarzados entre sí. El deslizamiento de las cerdas finas y gruesas sería similar al deslizamiento de los miofilamentos que origina la contracción muscular. A estos filamentos está asociada la tropomiosina, una proteína que desempeña un papel importante en la actividad muscular. La asociación de los miofilamentos, que se repite de una manera periódica formando los llamados *sarcómeros*, constituye el elemento fundamental de la contracción. Cada segmento de filamento grueso está unido por sus dos extremidades a sendos filamentos delgados, de manera que resulta una secuencia delgado-grueso-delgado que se repite constantemente. Tres segmentos forman un sarcómero y los sarcómeros situados uno a continuación del otro constituyen la larga fibra muscular.

La contracción Al producirse la contracción muscular, el filamento delgado se desliza sobre el grueso, de manera similar a como lo harían las cerdas de los cepillos si empujásemos un cepillo contra el otro. La acción de la contracción es principalmente de naturaleza química, aunque el mecanismo exacto no se conoce todavía con precisión. Parece, sin embargo, que las proteínas de los miofilamentos, actina y miosina, se atraen recíprocamente. Las moléculas de miosina poseen pequeños salientes que surgen de la superficie del filamento grueso y que, gracias a una reacción química, pueden unirse a la actina. Cuando tiene lugar el deslizamiento de los filamentos en el sarcómero, la fibra muscular se acorta y entonces el músculo se contrae.

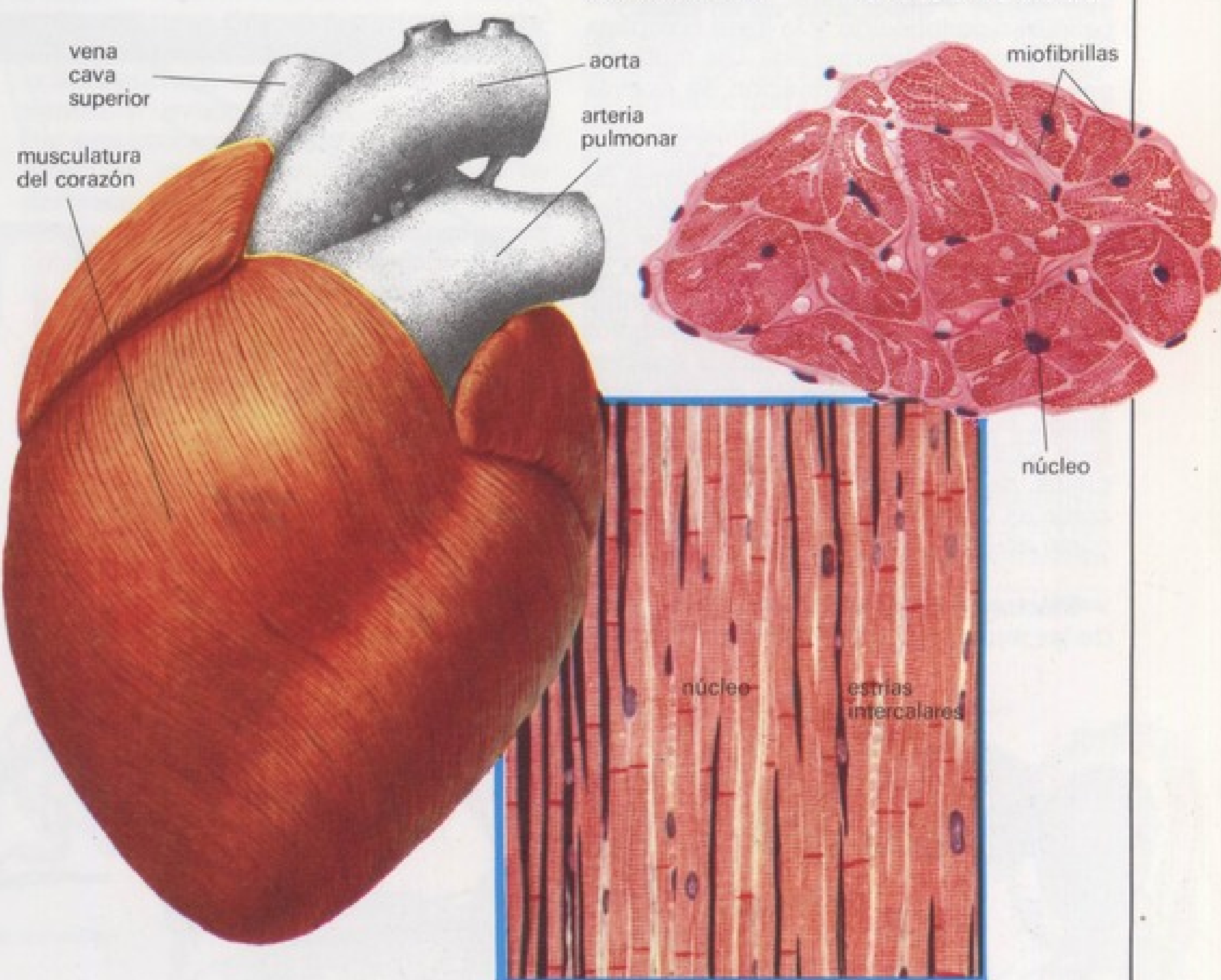
Sin embargo, en presencia de tropomiosina no tiene lugar la reacción entre la miosina y la actina, que es precisamente lo que acontece cuando la célula muscular está relajada. En presencia de los iones calcio, por el contrario, la acción inhibidora de la tropomiosina desaparece y las moléculas de miosina son capaces de atraer a los filamentos de actina, produciéndose la contracción. El impulso nervioso es precisamente el estímulo que hace fluir al interior de la célula muscular los iones calcio.

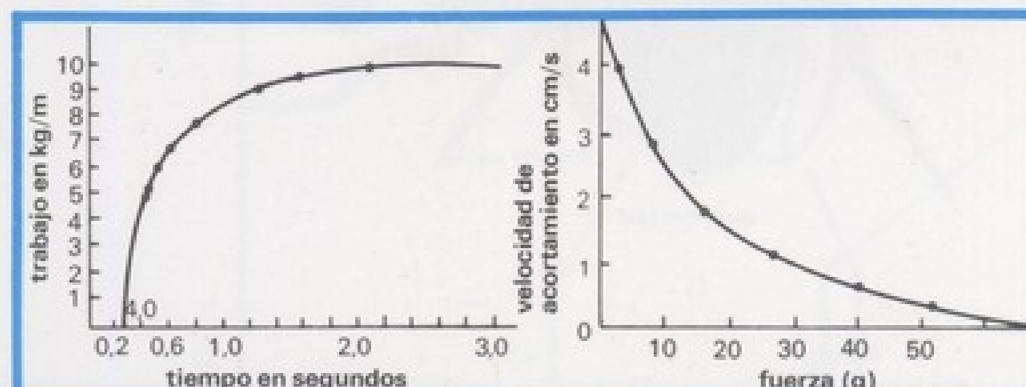
Pasando del nivel microscópico al macroscópico, encontramos millones de sarcómeros que reaccionan del mismo modo y en el mismo instante; son estas reacciones las que nos permiten contraer el músculo bíceps cada vez que deseamos alzar una mano.

Véase **Distrofia muscular; Locomoción animal**



A la izquierda, músculo estriado. Se ven una porción contráctil (el cuerpo o vientre) y dos porciones terminales sin capacidad contráctil (los tendones). Arriba, en el recuadro, se aprecia la estructura de la musculatura estriada. Abajo, musculatura del corazón y, en el recuadro, estructura microscópica del tejido cardiaco. Debajo de estas líneas, estructura microscópica de la musculatura cardiaca en sección transversal.





De estos dos gráficos, el de la izquierda representa la relación entre trabajo realizable y duración de la contracción de los músculos del brazo; el de la derecha muestra la relación entre fuerza y velocidad de acortamiento.

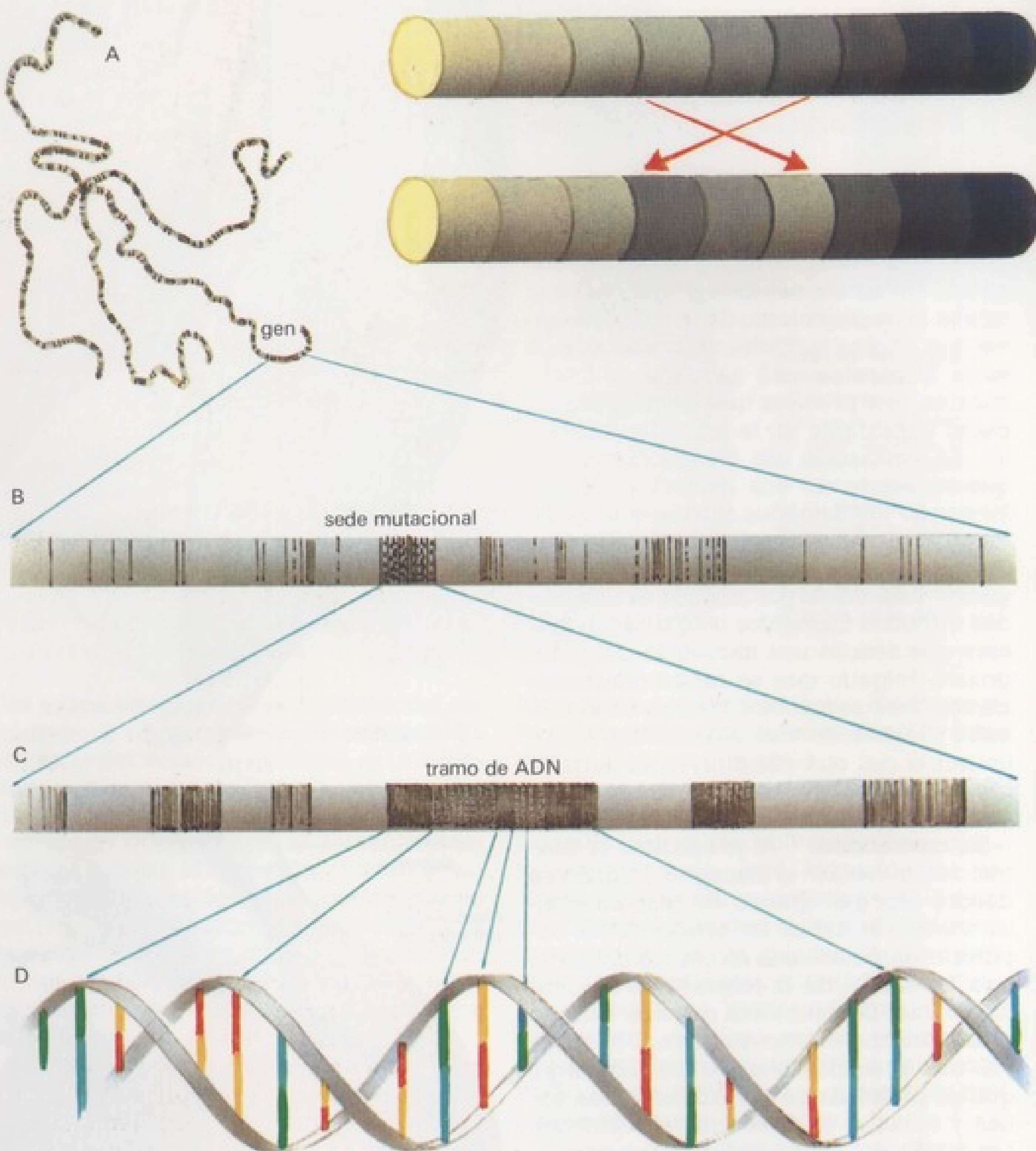
Mutación

Todos hemos oído hablar de que muchas enfermedades son causadas por ciertos microorganismos y que pueden curarse mediante antibióticos, es decir, mediante sustancias que matan a esos microorganismos. En los últimos años, bastantes de estos microbios patógenos están desarrollando resistencia a los antibióticos. *Resistencia* es un término muy inquietante para un proceso natural. De hecho, lo que ha ocurrido es que los microorganismos se han adaptado a un ambiente que se había vuelto súbitamente hostil para ellos debido a la presencia de los fármacos; ahora logran sobrevivir gracias a ciertas mutaciones. Como los microbios normales son destruidos en el nuevo ambiente, los mutantes resistentes empiezan a proliferar.

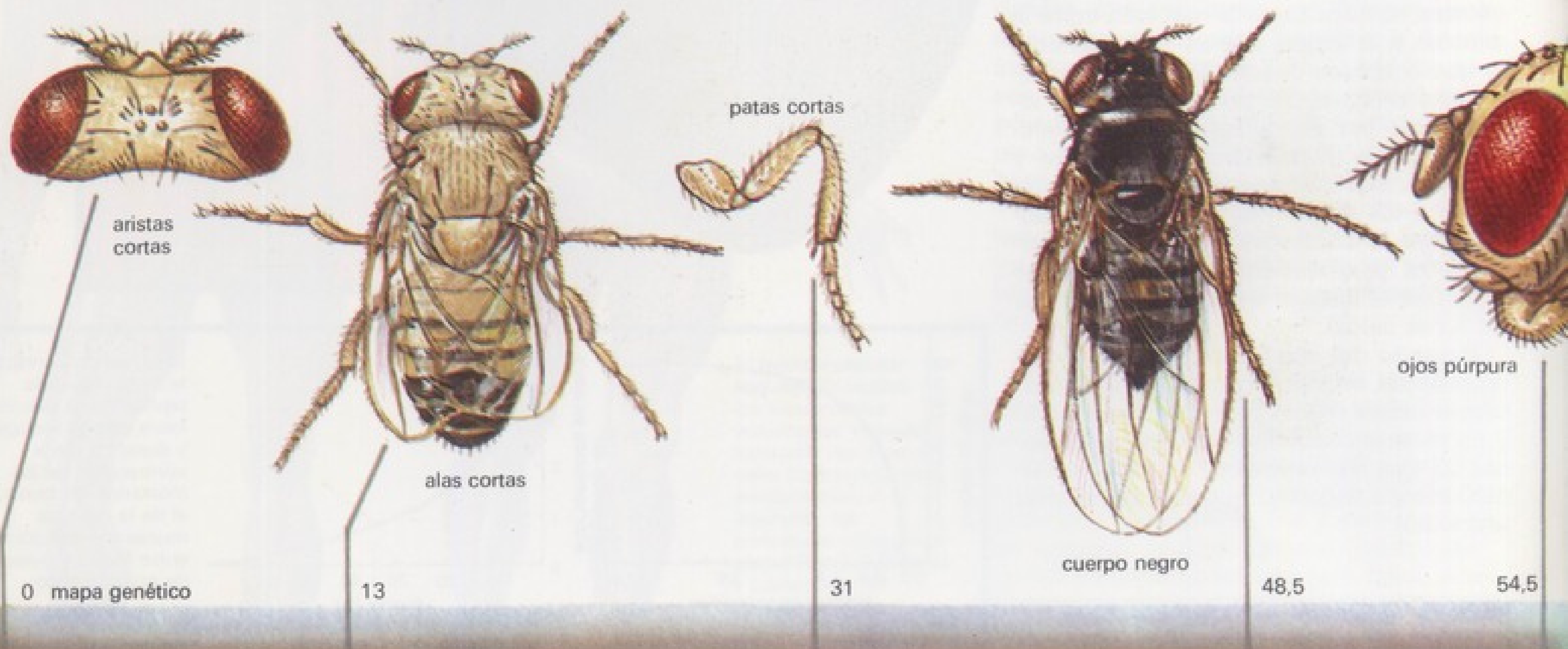
Naturaleza de las mutaciones Las mutaciones son cambios de la información genética celular, que reside en la secuencia de nucleótidos del ácido desoxirribonucleico o ADN, la famosa molécula en "doble hélice". Si la comparamos con el lenguaje, cada nucleótido corresponde a una letra de una frase; cada grupo de tres nucleótidos consecutivos, o *codón*, a una palabra o aminoácido, y la frase completa a una proteína determinada. Las mutaciones consisten en la formación de nuevas frases.

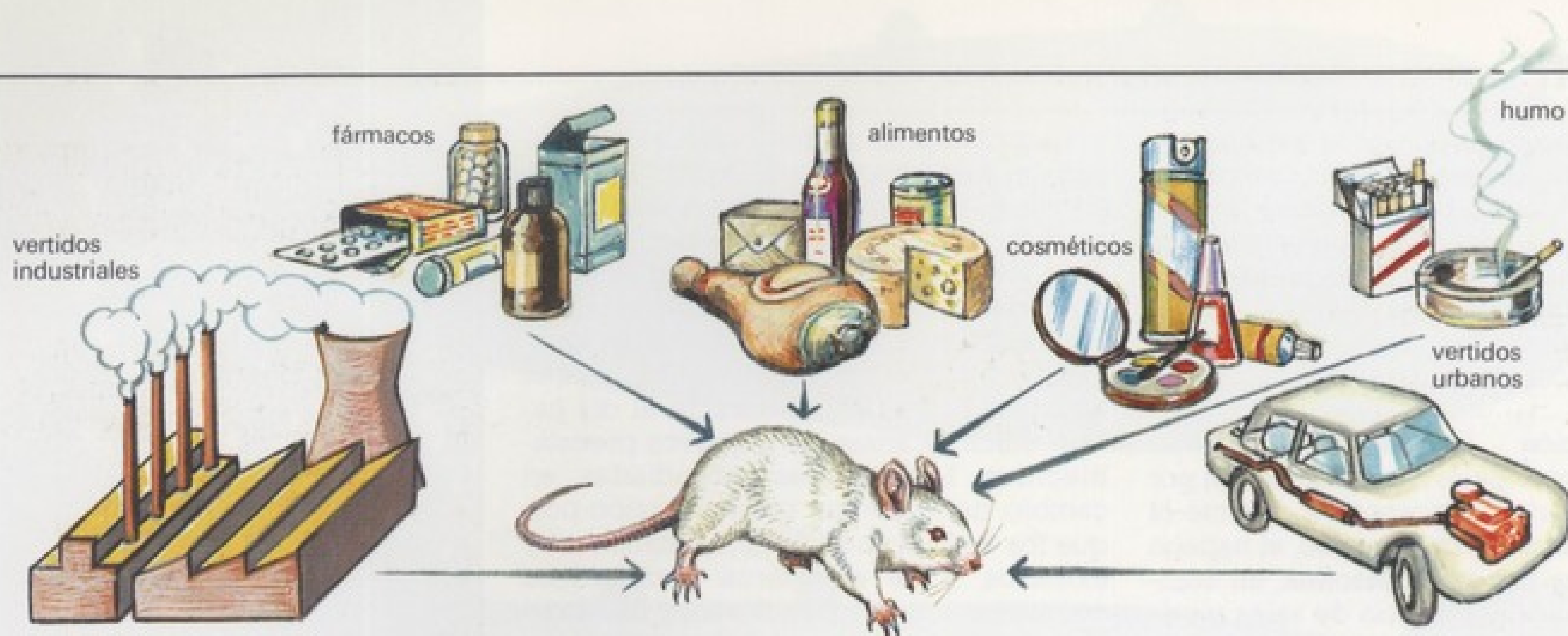
Supongamos que la frase CON UNA OLA representa una secuencia normal de ADN. El tipo más sencillo de mutación que podría experimentar es el cambio de una letra por otra, para dar, por ejemplo, CON UNA O*S*A; como se ve, incluso el cambio de tan sólo una letra puede tener efectos drásticos. Otros tipos de cambios posibles son la inserción o deleción de una letra, dando, por ejemplo, CON *A*UN AOL A, o bien, CON NAO LA. Otros tipos más complejos de mutaciones son la inversión como en CON UNA *ALO*, y la duplicación, como en CON *ON*U NAO LA.

Efectos de las mutaciones La mayoría de las mutaciones son deletéreas, aunque



En los cromosomas gigantes de las glándulas salivares de las larvas de la mosca *Drosophila* es posible, con ayuda de un microscopio, visualizar los genes como bandas que se tiñen más intensamente. Estos estudios, y otros referentes a los resultados de cruces entre distintas cepas mutantes, han permitido ubicar muchos genes a lo largo de los cromosomas y elaborar el *mapa genético* de la mosca (abajo). La secuencia A, B, C, y D muestra, con distintos grados de ampliación, el material genético de la mosca, desde los cromosomas (A) al ADN (D).





a veces son beneficiosas para el organismo que las presenta, como es el caso de las mutaciones que determinan resistencia a los antibióticos, de que hablábamos antes. Otras pueden ser favorables o desfavorables dependiendo de las circunstancias. Por ejemplo, hay una mutación en la especie humana que altera la hemoglobina, es decir, la importante proteína sanguínea que transporta el oxígeno a los tejidos. Los individuos que sólo producen la hemoglobina anormal mueren víctimas de una fuerte anemia, llamada *anemia falciforme* por la tendencia de los eritrocitos a adoptar la atípica forma de una hoz. Los individuos que producen tanto hemoglobina normal como mutante sufren también anemia falciforme, pero en una forma más suave, compatible con la vida. Aunque la mutación es claramente desfavorable, en países de paludismo endémico resulta favorable, porque los parásitos que producen el paludismo viven peor en la sangre de un paciente de anemia falciforme que en la de uno sano; la ventaja que confiere la resistencia al paludismo compensa con creces de la desventaja de padecer la citada anemia.

Las mutaciones son imprescindibles para la especie, aunque puedan resultar nefastas para muchos de sus miembros. Si no hubiera mutaciones, las poblaciones carecerían de diversidad genética y no podrían adaptarse a los inevitables cambios ambientales. Por ejemplo, sin mutaciones a resistencia, todos los microorganismos sensibles a los antibióticos estarían en trance de desaparecer.

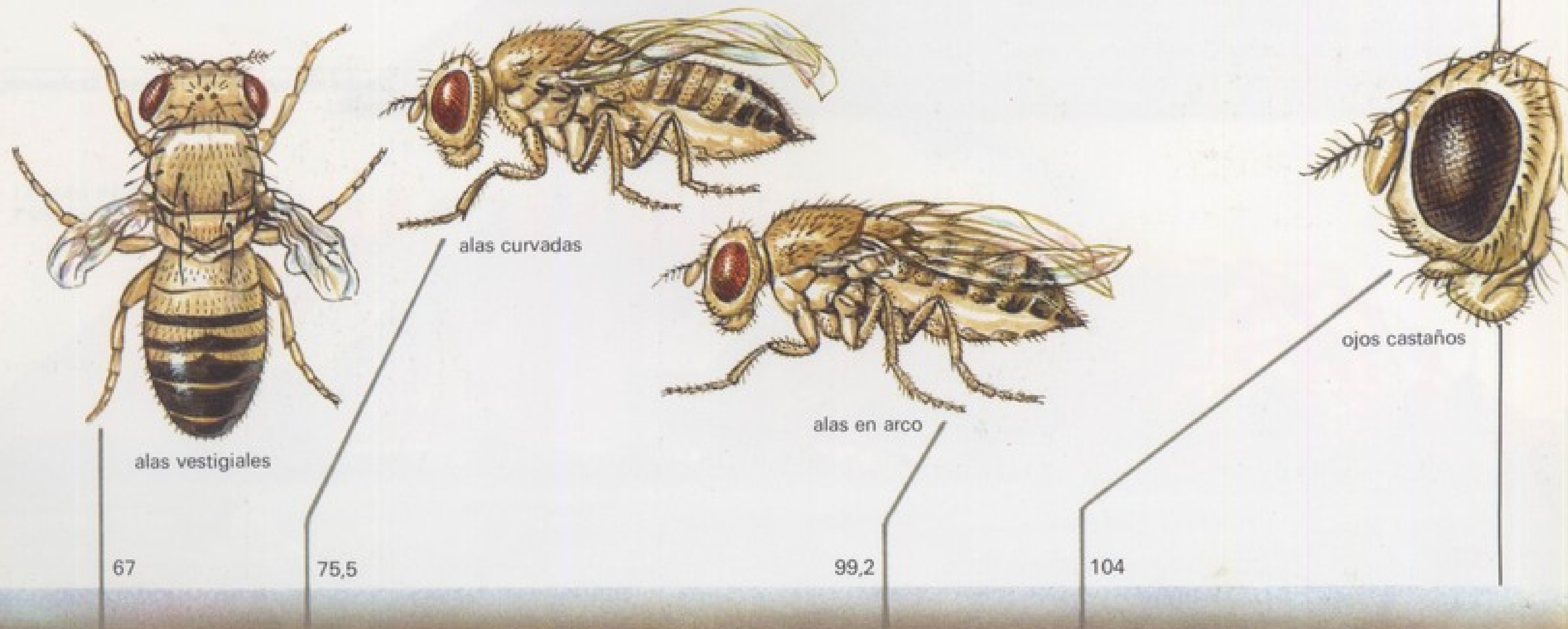
Los individuos portadores de una mutación dañina mueren antes de reproducirse o, al menos, tienen menos probabilidades de dejar descendencia que los demás miembros de su especie, por lo que la frecuencia de esa mutación irá disminuyendo y, eventualmente, desaparecerá. Por este proceso, llamado *de selección natural,* las mutaciones desventajosas no permanecen mucho tiempo en las poblaciones. Si la mutación desventajosa o perjudicial es *dominante,* es decir, si ejerce su efecto incluso en individuos que la lleven junto a un gen normal, el proceso de eliminación será rápido y eficaz, tanto en individuos haploides (con un ejemplar de cada gen por célula) como diploides (con dos ejemplares, iguales o distintos, de cada gen por célula). Pero si la mutación es *recesiva,* incluso aunque fuera letal, puede permanecer bastante tiempo en las poblaciones diploides, pues muchos individuos la portarán y transmitirán sin padecer sus nocivos efectos.

Las mutaciones ocurren con muy escasa frecuencia, del orden de una por cada millón de células, pero ciertos agentes pueden aumentar esa frecuencia. Entre ellos, como ya se ha comprobado con ratones y otros organismos, figuran las radiaciones ionizantes y muchas sustancias químicas, algunas de ellas (como los humos del tabaco o de las combustiones de los motores), muy presentes como contaminantes en nuestro ambiente.

Causas de las mutaciones Puesto que las mutaciones son cambios del ADN, se deduce que los agentes mutagénicos serán aquellos que ataquen al ADN. Entre los más conocidos figuran gran cantidad de sustancias químicas, los choques térmicos y ciertas radiaciones, como la radiación ultravioleta. El empleo frecuente de rayos X con fines diagnósticos no es recomendable, ya que es bien conocida su capacidad mutagénica.

Las mutaciones naturales ocurren espontáneamente, sin que sea posible determinar su causa en cada caso concreto. Se sospecha que algunas de ellas pueden originarse por la acción de radiaciones naturales y otras por la de los contaminantes químicos que nuestra civilización vierte al ambiente en cantidades apreciables.

Véase **Desoxirribonucleico y ribonucleico, ácidos; Gen; Genética; Herencia**



Napalm

En los últimos años, pocos medios bélicos han suscitado tantas controversias como el napalm, con la única excepción quizás de las armas nucleares. Para mucha gente que se opuso a la intervención norteamericana en Vietnam, el napalm simbolizaba la presencia estadounidense en dicho conflicto.

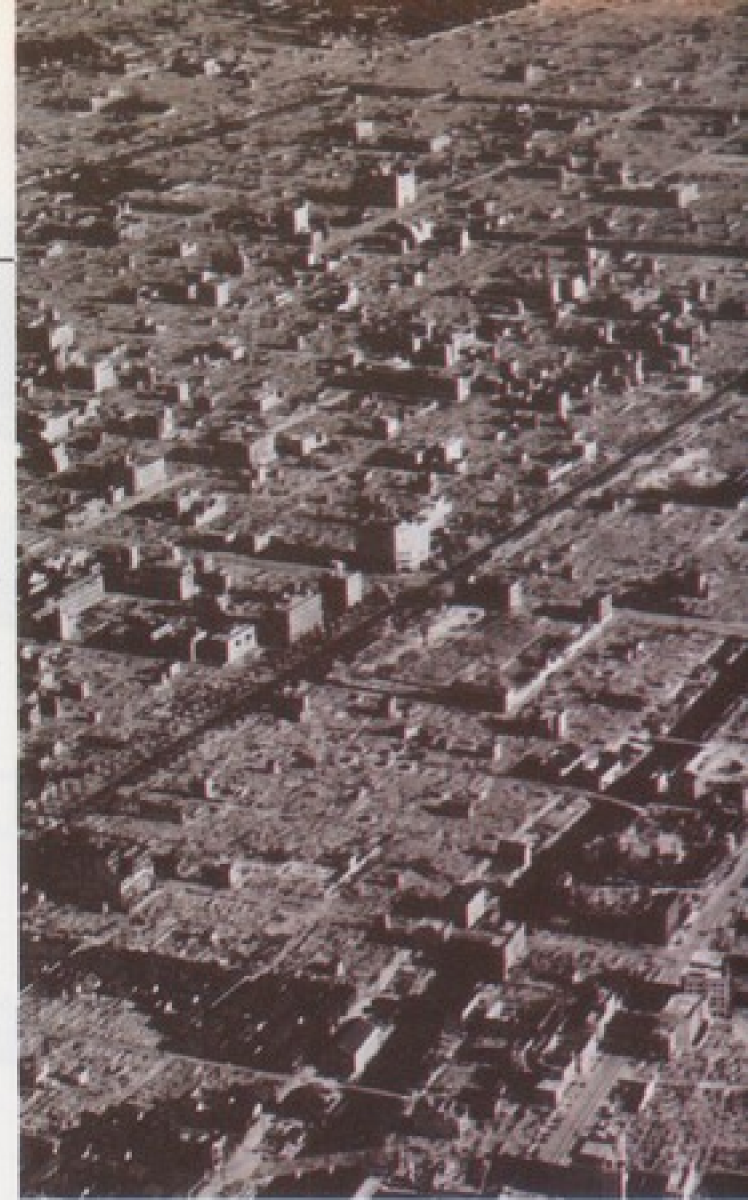
Composición En realidad, la tecnología bélica del napalm fue desarrollada por científicos norteamericanos ya durante la II Guerra Mundial. Por sí mismo, el napalm es un espesador de la gasolina, un compuesto de jabones (mezcla de sales metálicas y de ácidos grasos) constituido por ácidos orgánicos extraídos del aceite de cacao (50%), ácidos nafténicos derivados del petróleo (25%) y ácido oleico (25%). Esta mezcla se combina con hidróxido de aluminio y después se vierte sobre gasolina de 100 octanos en una proporción de alrededor del 4,5%, según el grado de espesamiento que se desee obtener. La mezcla napalm-gasolina arde más lentamente que la gasolina pura y a una temperatura más elevada (675 °C).

Aplicaciones El napalm es un producto incendiario muy violento, que se emplea en lanzallamas y bombas incendiarias. En los conflictos armados es utilizado para eliminar la protección que ofrecen al enemigo las masas de árboles y vegetación y para desencadenar incendios en amplias zonas operativas. La finalidad del espesamiento de la gasolina por medio del napalm es hacerla más fácil de utilizar y de ser lanzada a distancia del objetivo. Además de esto, dado que su combustión es más lenta que la de la gasolina tradicional, necesita ser quemada una cantidad menor para cumplir su cometido.

El napalm se arroja directamente desde los aviones o por unidades de zapadores provistos de lanzallamas, o bien mediante bombas incendiarias lanzadas por los misiles. En este último caso, una pequeña carga explosiva en la cabeza del misil sirve para esparcir el gel, que arde en la zona del blanco. El napalm permanece adherido a la zona en que se deposita hasta que termina de quemarse, provocando también incendios secundarios.

La primera ocasión en que se empleó napalm fue durante la II Guerra Mundial, en el desembarco norteamericano con medios anfibios en las islas Marianas, en junio de 1944. Más tarde la aviación estadounidense encontró dificultades para bombardear los centros industriales japoneses con bombas tradicionales porque los ataques a alta cota durante el día hacían difícil alcanzar los objetivos preestablecidos. Las bombas incendiarias, en cambio, no requerían tanta precisión porque los daños producidos resultaban muy extensos, y se efectuaron bombardeos nocturnos con aviones dotados de armamento más ligero, desde cotas inferiores. Un ataque aéreo de este tipo fue realizado por la aviación americana en la noche del 9 al 10 de marzo de 1945 contra Tokio, capital de Japón, usando una mezcla de bombas incendiarias de fósforo y de bombas de napalm. Sólo en aquella noche, 279 bombarderos B29 destruyeron la cuarta parte de los edificios de la ciudad, que, además, eran en su mayor parte de madera con armazón de yeso. Más de un millón de personas quedaron sin hogar y 80.000 ciudadanos perecieron, tantos como los que murieron en el ataque atómico de Hiroshima, ocurrido pocos meses después. Las bombas de napalm se emplearon también en las guerras de Corea y del Vietnam en apoyo de operaciones terrestres, y todavía hoy forman parte de los sistemas de armamento ofensivo de muchas fuerzas aéreas en todo el mundo.

Lanzallamas En los ataques terrestres el napalm es arrojado mediante lanzallamas, armas empleadas por primera vez por los alemanes durante la I Guerra Mundial (aunque no con ese tipo de combustible incendiario). Los lanzallamas disponen de pequeños depósitos de aire comprimido desde donde sale el aire que lanza el combustible a través de la boquilla. A la salida de ésta se prende fuego al combustible. Un lanzallamas portátil tiene un radio de acción de unos 50 metros. Después de la II Guerra Mundial se han fabricado lanzallamas de mayor tamaño, instalados sobre vehículos. Los más corrientes lanzan los chorros de napalm a 150 metros de distancia.



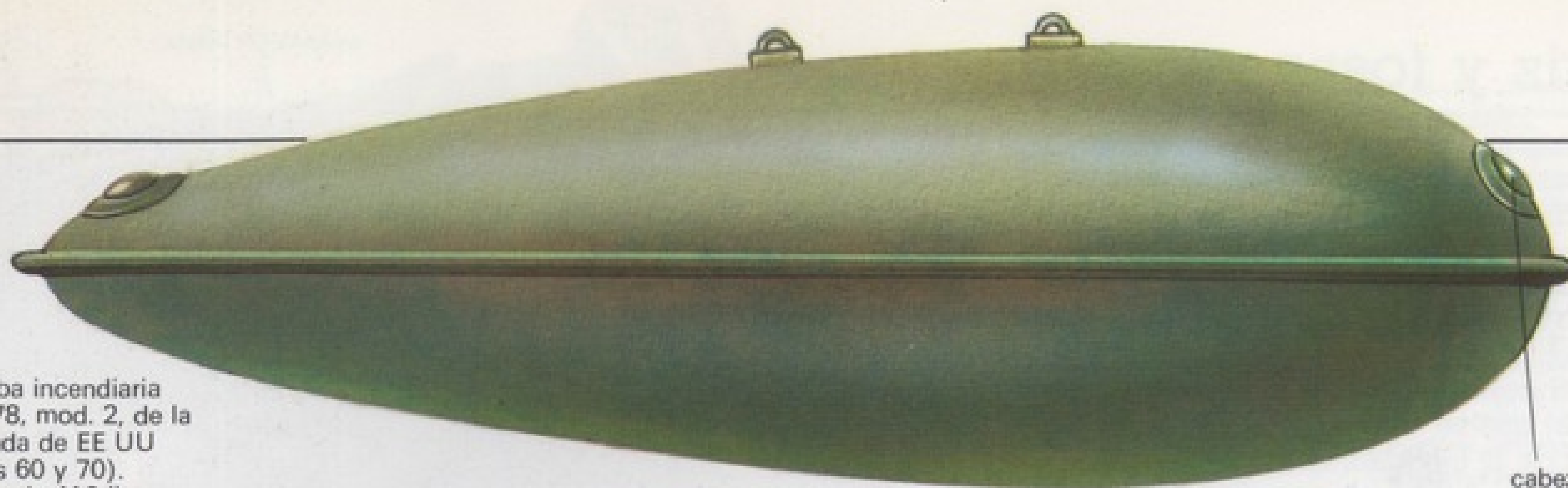
En el bombardeo bélico, el napalm ha sustituido a otros medios incendiarios. Recordemos que el fósforo fue, en los bombardeos de la II Guerra Mundial, el agente más usado, junto a la termita, para armas de pequeñas dimensiones. Ambos agentes incendiarios han ido siendo sustituidos por el napalm en el caso de bombardeos limitados a vuelo rasante con aviones de elevada velocidad. Arriba, una vista de Tokio después del incendio producido por un bombardeo en el que se utilizó extensivamente el napalm. Este medio incendiario, capaz de arder rápidamente, es muy eficaz contra construcciones de madera y papel. Abajo, la nube de fuego que se levanta de un blanco alcanzado por una carga de napalm.

El napalm se mezcla también con gasolina y otros productos petrolíferos más pesados para formar un gel inflamable utilizado para la iluminación nocturna. El compuesto empleado en estos casos incluye también magnesio y nitrato de sodio, que, al arder, originan luces brillantes y coloreadas.

Véase **Bomba atómica; Bomba y mina; Explosivos; Lanzagranadas**







Bomba incendiaria MK 78, mod. 2, de la Armada de EE UU (años 60 y 70). Contenía 416 litros de napalm



BLU-27/B "Finned"

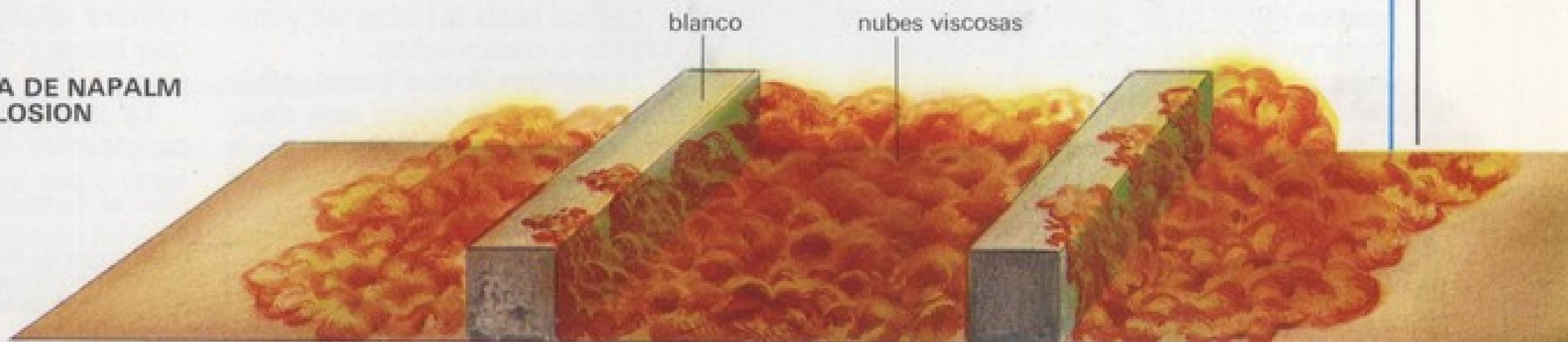
Arriba, una carga de napalm en un contenedor aerodinámico que va suspendido del ala del avión. Sobre el morro aparece la cabeza de la pequeña carga sumergida en el líquido incendiario, que se extenderá en el momento del impacto sobre el suelo. Inmediatamente debajo, bomba de napalm con aletas; en el centro (aquí abajo), cazabombardero con armas de napalm bajo las alas; y más abajo, diferencia entre la llama del napalm viscoso y la propia del petróleo.





trayectoria de la bomba de napalm tras el desenganche

LLAMA DE LA BOMBA DE NAPALM DESPUES DE LA EXPLOSION

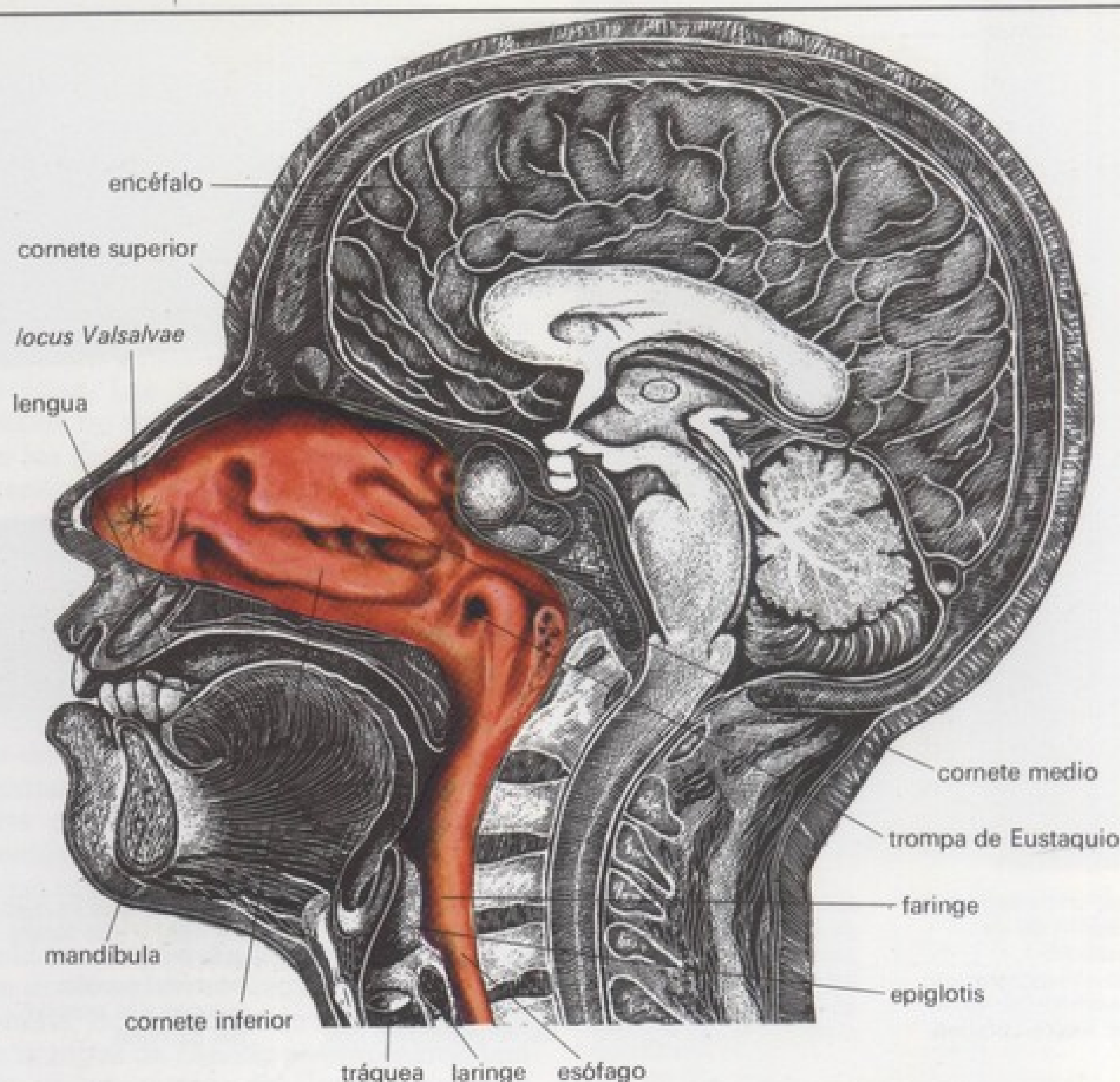


LLAMA PRODUCIDA POR PETROLEO



Nariz y fosas nasales

La nariz constituye el extremo inicial de las vías respiratorias y tiene la función de preparar el aire del exterior para su recorrido por dichas vías hacia los pulmones. En la cavidad nasal, efectivamente, el aire se calienta hasta adquirir la temperatura corporal y se depura de cuerpos extraños (polvos, bacterias y pequeños insectos) que se van depositando en las paredes de la cavidad, donde son englobados por el fluido mucoso. Por otra parte, la nariz y los senos paranasales contienen los centros sensoriales del olfato.



La nariz La nariz está formada por dos *fosas nasales* separadas por un cartílago (el *septo nasal* o *tabique nasal*) y abiertas hacia el exterior a través de los *orificios nasales*. El tabique nasal está inserto en las estructuras óseas del cráneo y las dos fosas que separa permiten la entrada del aire desde el exterior del cuerpo hasta el interior del mismo a través de la faringe. Cada fosa está constituida por complejas formaciones óseas que sirven para incrementar la superficie de la cavidad y proteger la región olfativa. El revestimiento del *vestíbulo* —la sección anterior de las fosas nasales que comprende los orificios nasales— está formado por una prolongación de la piel de la cara. Este tejido contiene muchos folículos pilíferos, glándulas sudoríparas y glándulas sebáceas. Cuando el aire es inspirado por la nariz, los pequeños pelos, situados en la parte inferior de las fosas nasales, recogen, con la ayuda del moco, los cuerpos extraños y los expulsan al exterior o hacia la cavidad orofaríngea (la parte media de la faringe, un espacio situado detrás de la cavidad nasal). La inflamación de las mucosas nasales se denomina *rinitis*. Puede estar provocada por infecciones —por ejemplo, virales—, pero también por el humo o por el calor. Las formas agudas de rinitis pueden extenderse al oído medio o a los senos nasales.

Senos paranasales Por *senos paranasales* se entiende las cuatro cavidades de los huesos craneales adyacentes a las fosas nasales. Se encuentran revestidos por una mucosa similar a la de las fosas. Las secreciones de moco que se forman en los senos paranasales son transportadas por los cilios a través de las aperturas de drenaje hacia la cavidad nasal, donde son deglutidas o bien expulsadas.

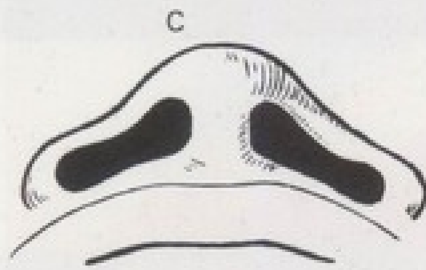
En el momento del nacimiento, los senos paranasales son muy pequeños o bien están completamente ausentes; su crecimiento es gradual hasta la pubertad y mucho más rápido a continuación.

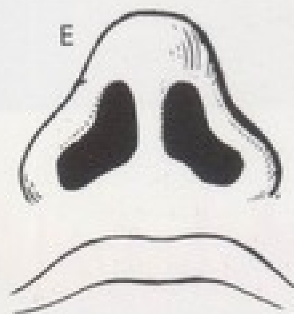
Existen cuatro cavidades paranasales: el *seno frontal*, par y simétrico, está situado en el hueso frontal, se encuentra en la parte superior y en el centro de los arcos superciliares; el *seno maxilar*, en forma de pirámide, se extiende desde la parte inferior de las órbitas hasta el paladar, es decir, el hueso en el que se insertan los dientes; el *seno etmoidal*, constituido por las celdas etmoidales anteriores y posteriores, está formado por una serie de cavidades —de diez a doce— excavadas en forma de nido de abejas en el espesor de las masas laterales del etmoides; el *seno esfenoidal*, también par y simétrico, se encuentra situado en el hueso esfenoides que forma parte de la base del cráneo y se relaciona con la glándula pituitaria.

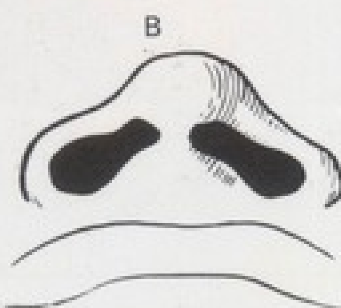
La *sinusitis*, o inflamación de los senos paranasales, puede estar provocada por virus o por irritaciones; un diente con ca-

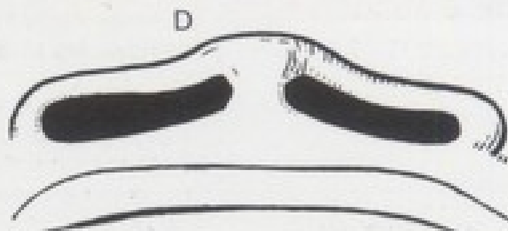
En la figura de la parte superior, corte sagital de la cabeza en el que se destacan específicamente una fosa nasal y el punto de su mucosa más fácilmente sujeto a la producción de hemorragias, denominado *locus Valsalvae*.

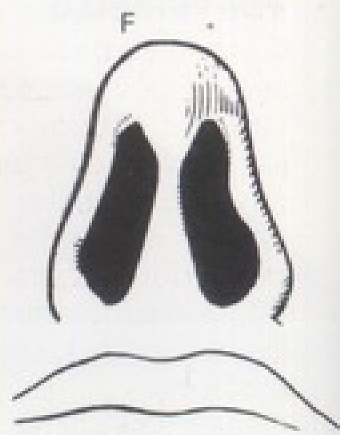




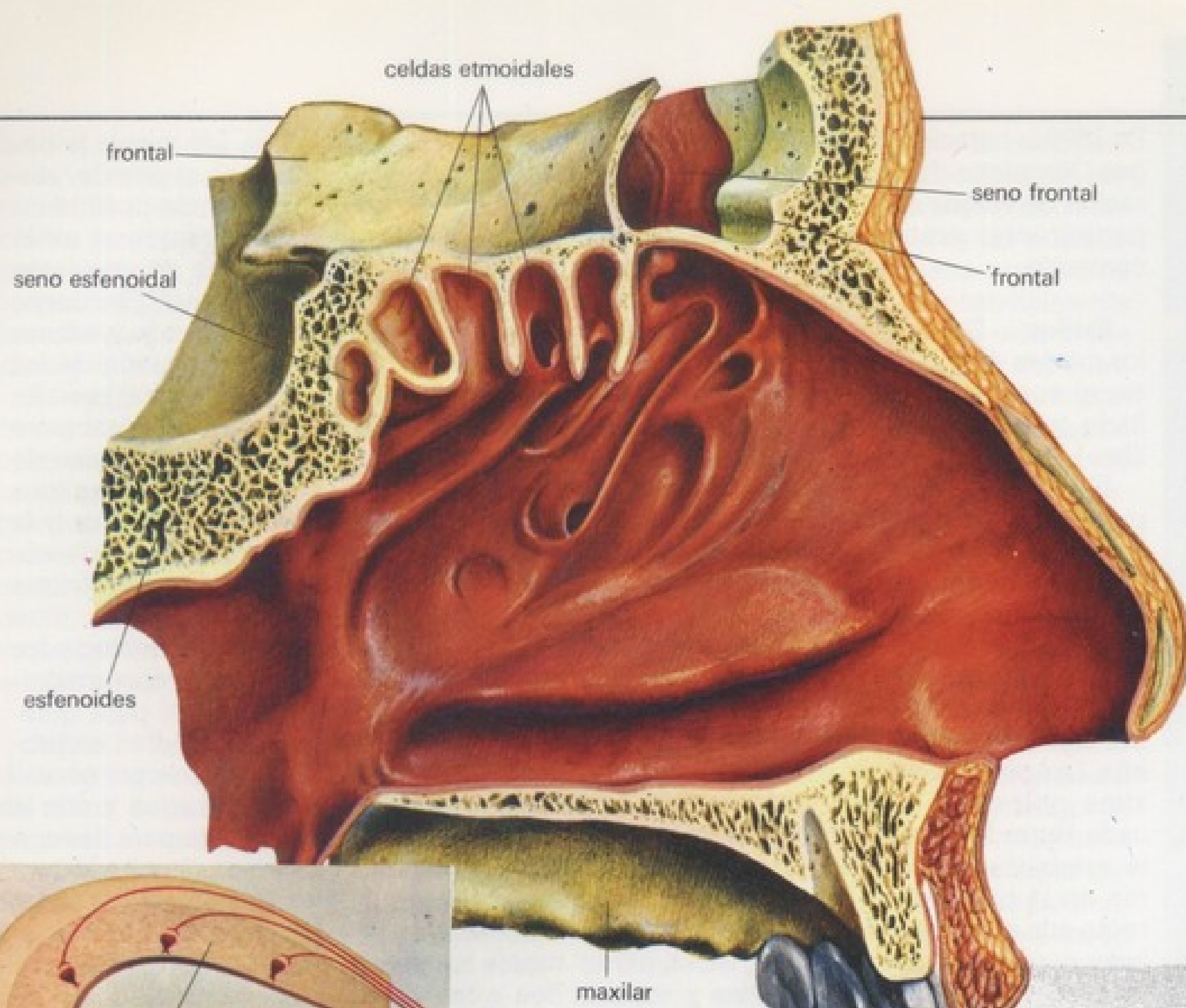




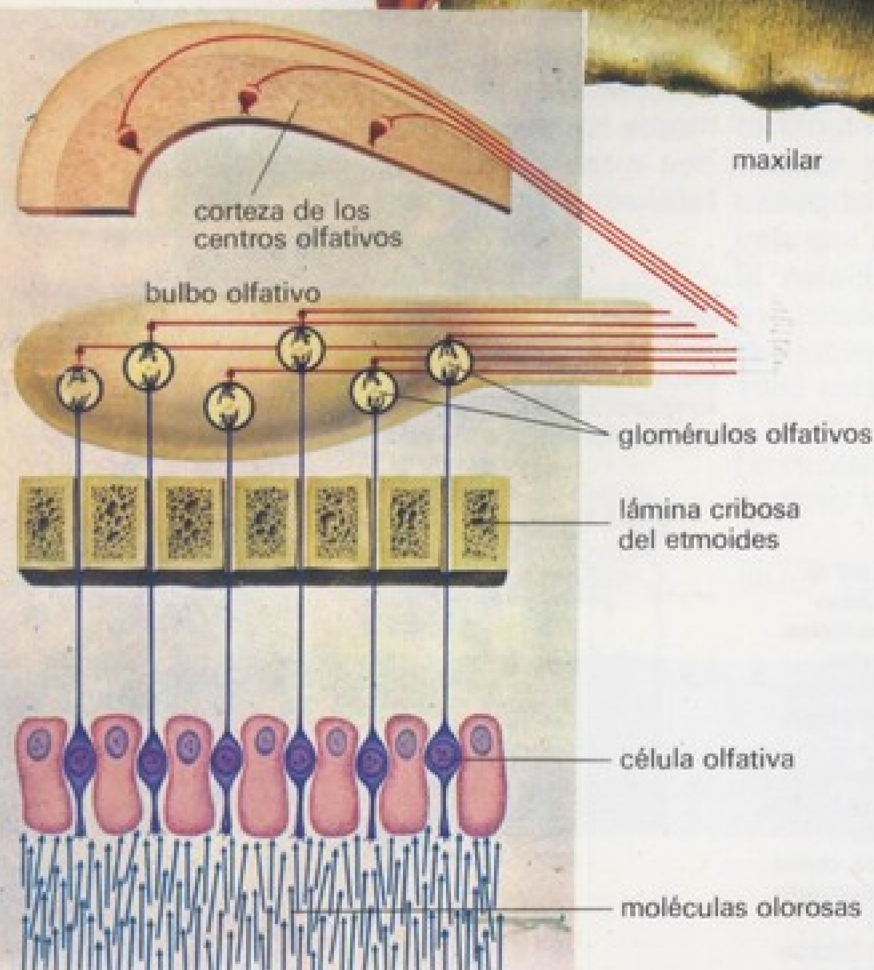


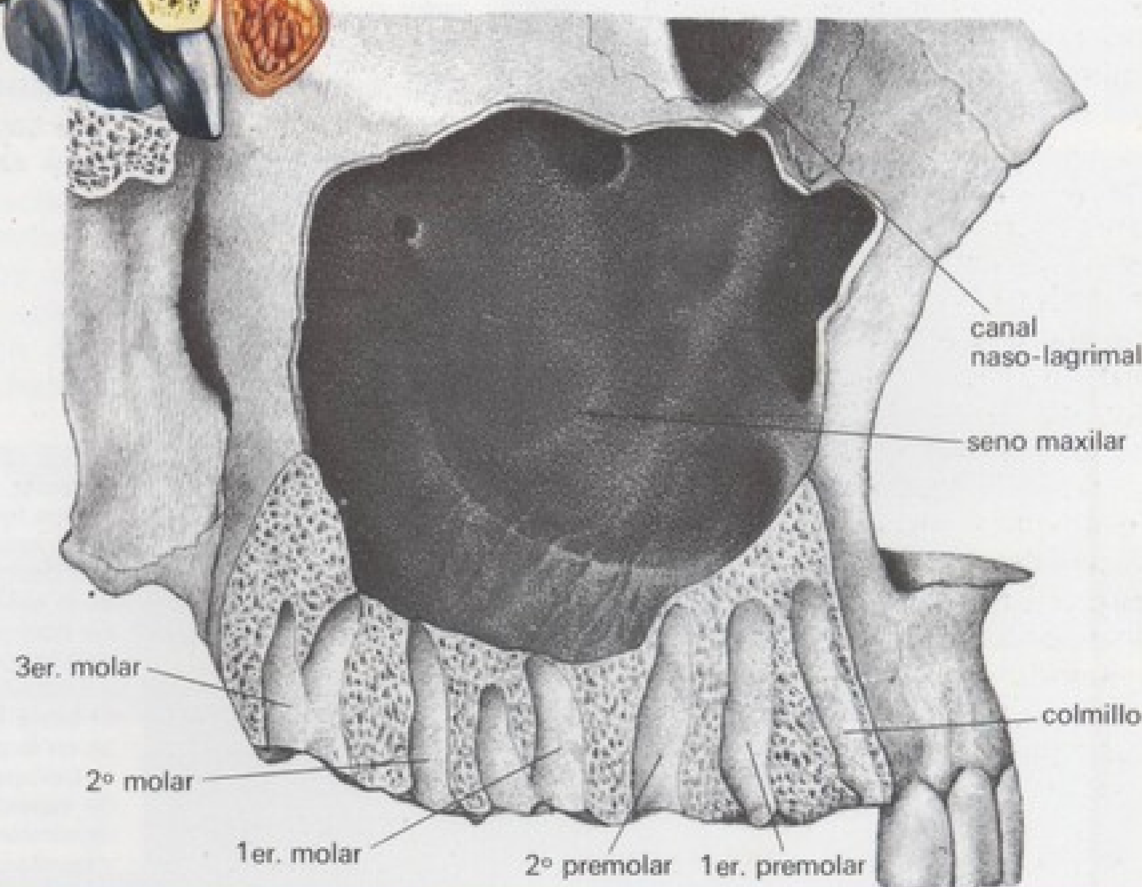


La nariz es la región de la cara que comprende la pirámide nasal y las fosas nasales. En esta ilustración vemos cómo la forma y las dimensiones son características de los distintos grupos raciales. Algunas variedades de aberturas nasales: A, B, nariz intermedia de las razas amarillas (la abertura es más o menos oblicua con respecto al plano facial); C, D, nariz plana de algunos tipos de raza negra (la abertura es más o menos paralela al plano facial); E, F, nariz prominente que suele corresponder a los tipos europeos (la abertura es más o menos perpendicular al plano de la cara)



A la izquierda, corte sagital que muestra las celdas etmoidales, el seno frontal y el seno esfenoidal. Abajo, a la derecha, sección sagital que pone de manifiesto el seno maxilar. Cada uno de estos senos puede estar afectado por procesos inflamatorios denominados *sinusitis*. Muy frecuentemente la aparición de la sinusitis está favorecida por la existencia de factores locales, congénitos o adquiridos, como la excesiva estrechez de las fosas nasales, las desviaciones del tabique y las dimensiones reducidas de los orificios de desembocadura de los senos en las fosas nasales. Abajo, a la izquierda, se muestra el recorrido de la vía olfativa.





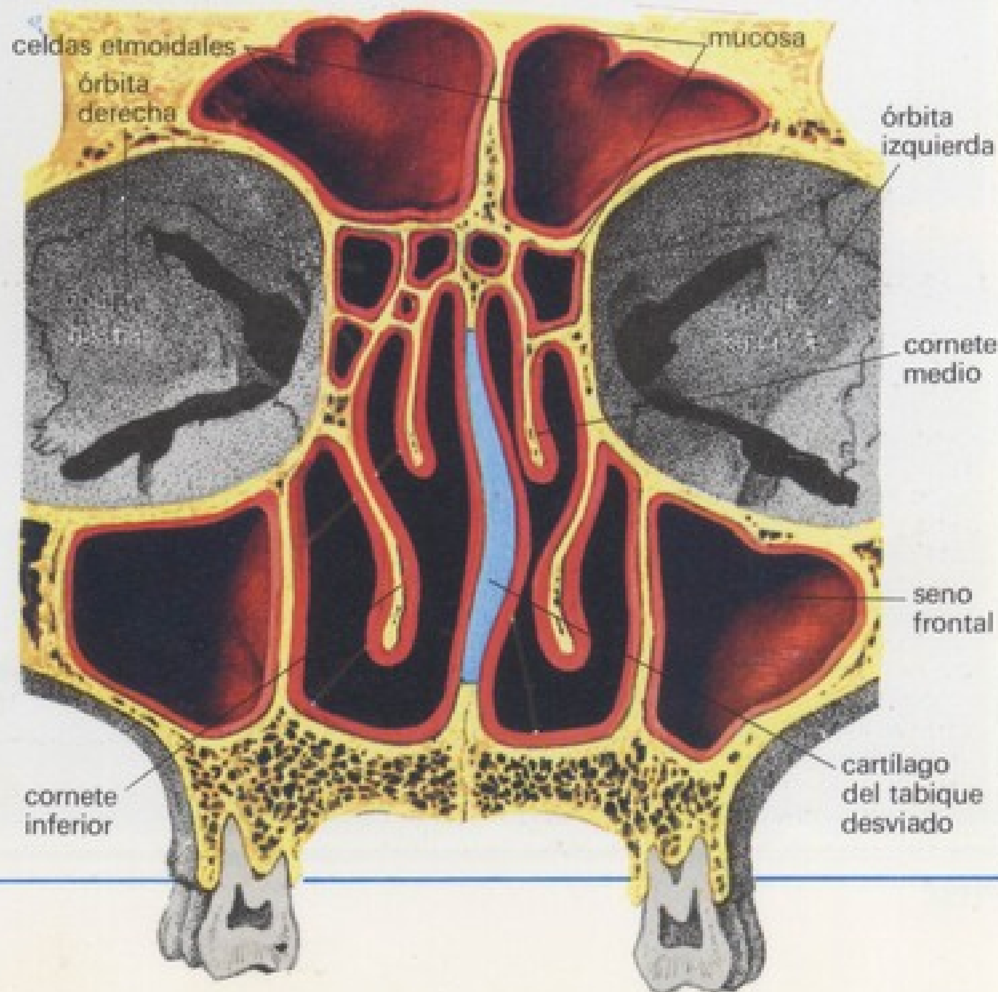
ries, por ejemplo, puede originar la inflamación de los senos maxilares. La inflamación de los senos frontales los hace muy sensibles a las presiones externas.

Existen varios tratamientos para la sinusitis: comprimidos para el resfriado, antihistamínicos, agentes vasoconstrictores de la mucosa nasal, antibióticos contra los microorganismos que causan la infección, o bien se puede recurrir al drenaje de los senos. La sinusitis puede llegar a tomar también formas preocupantes dado que los senos están en comunicación con la cavidad nasal (que puede recibir infecciones del ambiente externo) y están separados del cerebro por una delgada pared. Una sinusitis aguda puede extenderse a los huesos del cráneo y provocar, si se difunde hacia el interior, meningitis o infecciones cerebrales.

Véase **Olfato, sentido del; Resfriado; Respiración**

LAS MALFORMACIONES DEL TABIQUE

La figura muestra una sección frontal de las cavidades nasales que pone de manifiesto la situación determinada por una desviación del tabique. El cartílago del tabique, que se encuentra fuertemente desviado hacia el lado derecho, se adosa a los cornetes disminuyendo de este modo el espacio reservado al paso del aire. Las malformaciones del tabique nasal son, con mucho, las anomalías más frecuentes de la nariz; pueden producirse espontáneamente o bien ser de naturaleza traumática, es decir, debidas a un golpe en la nariz.



Natación

Los expertos en salud física coinciden en señalar que la natación es el mejor ejercicio para todo el cuerpo, en cuanto que desarrolla la elasticidad muscular y la fuerza y aumenta la resistencia de los sistemas circulatorio y respiratorio. La simple inmersión del cuerpo en el agua incrementa automáticamente la circulación sanguínea y la frecuencia cardiaca y favorece la mayor oxigenación de los pulmones. La fuerza ejercida para moverse en el agua incrementa tales beneficios, y los entendidos sostienen que un ejercicio de media hora tres veces a la semana es suficiente para mantener a una persona en forma.

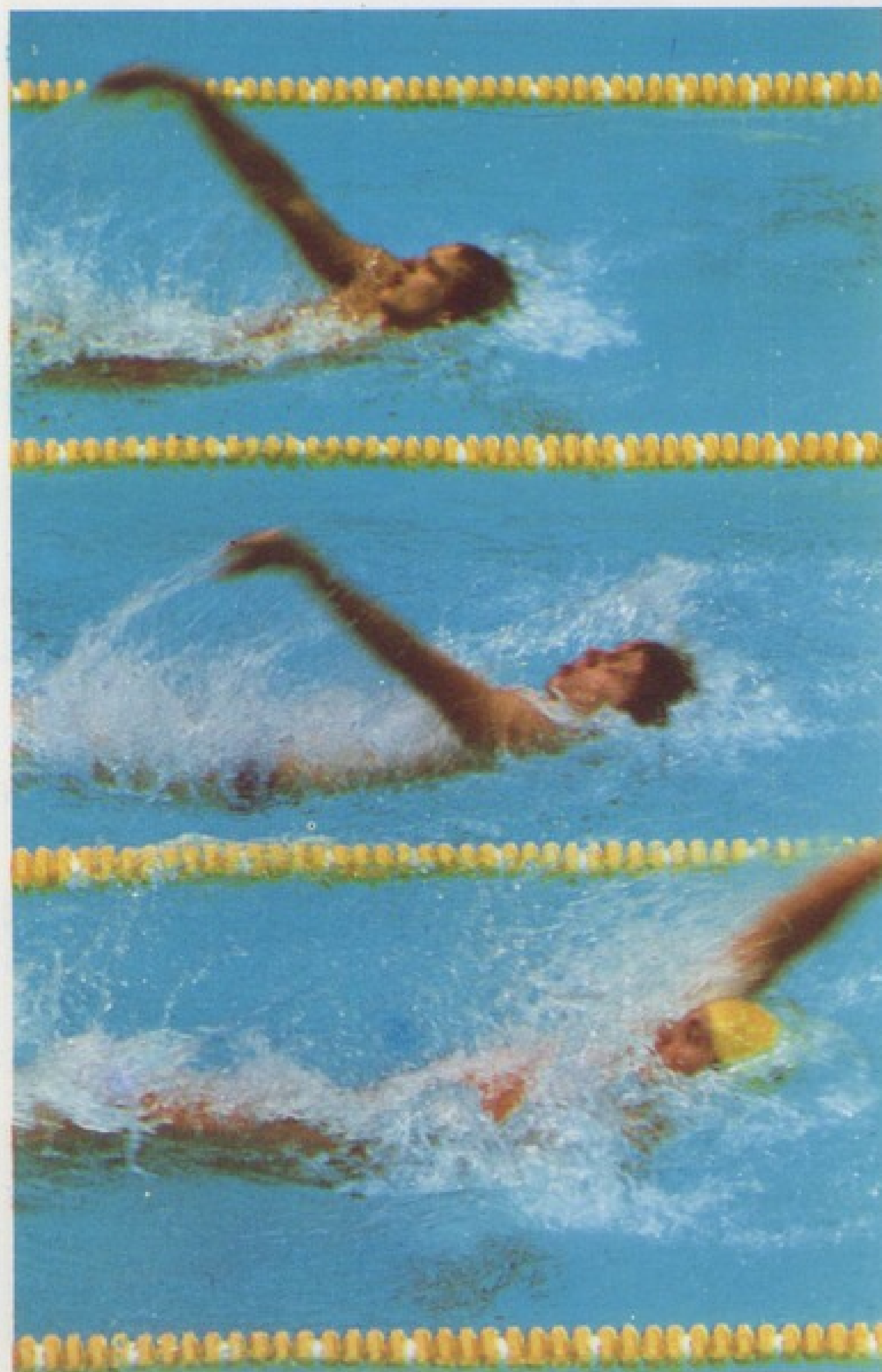
Las antiguas civilizaciones mediterráneas utilizaban la natación como ejercicio militar para sus soldados, mientras que las primeras competiciones deportivas tuvieron lugar en el Japón hace más de dos mil años. La práctica de la natación fue abandonada en Europa durante la Edad Media por temor a que contribuyera a la difusión de las enfermedades. Ya en el siglo XIX, se desarrolló como deporte en Gran Bretaña: los militares británicos habían aprendido un estilo practicado por los hindúes y lo introdujeron en las Islas hacia 1850. En 1896 la natación fue incluida en los Juegos Olímpicos de Atenas, aunque la separación de estilos era todavía incierta y los participantes practicaban el que más les convenía.

Estilos En el perfeccionamiento de los modos de mantenerse a flote y propulsar el cuerpo en el agua se han desarrollado cuatro estilos básicos: *crol* (o estilo libre), espalda, braza y mariposa.

El *crol* es el estilo más rápido y más popular; su descripción ejemplifica los principios de la natación. El cuerpo se coloca en posición horizontal sobre la superficie del agua, con las piernas ligeramente sumergidas. La mayor propulsión la proporciona el movimiento de rotación alternada de los brazos, con tracción por debajo del agua y recuperación por encima de ella. Las piernas y pies extendidos al máximo golpean el agua varias veces en cada brazada; su misión es principalmente estabilizadora, aunque también cooperan en la propulsión. La cabeza, en línea recta con el cuerpo, se inclina a uno u otro lado, o a ambos en forma alternativa, para mantener una respiración rítmica y sostenida, y a la vez para que el nadador pueda observar su posición. Las manos penetran de lado en el agua, con objeto de "cortarla" con la menor resistencia posible.

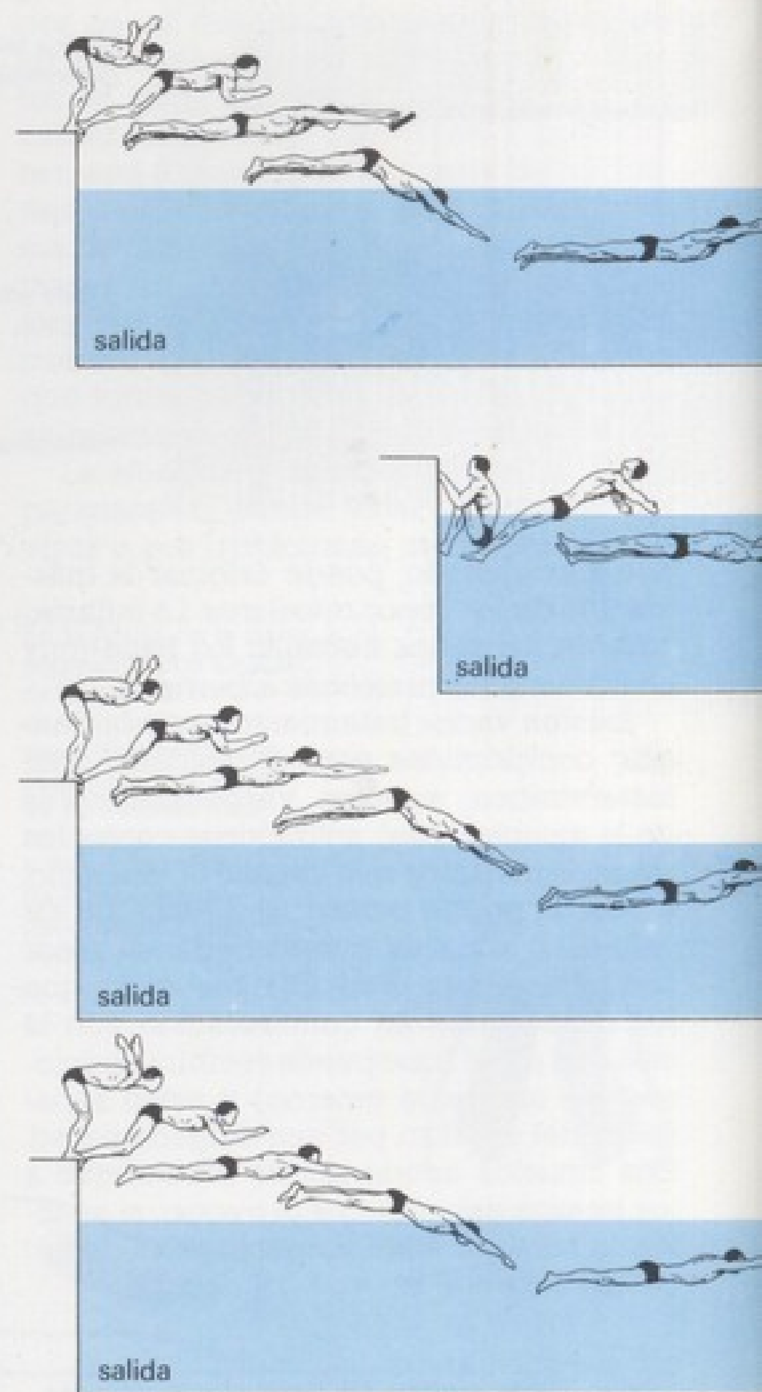
El *estilo espalda* es parecido al estilo libre pero el nadador toma una posición inversa, de espaldas al agua. El cuerpo tenso y extendido sobre el agua avanza gracias al movimiento de rotación de los brazos, idéntico al del estilo *crol*, pero en sentido inverso. Las caderas, ligeramente sumergidas, ayudan al fuerte impulso de las piernas, que efectúan de 2 a 6 golpes por cada brazada. Dado que la boca y la nariz permanecen constantemente descubiertas, la respiración es normal y el ritmo de la brazada acompasado.

El *estilo braza* es el más formativo para el cuerpo y permite un desarrollo armónico, por lo que se recomienda para quienes sufran defectos físicos o estén en proceso de recuperación. El cuerpo se extiende boca abajo sobre el agua y con la cabeza levemente levantada para llevar a cabo la respiración, que es muy importante en este estilo. Los brazos, inicialmente unidos bajo el pecho, se extienden suavemente hacia adelante hasta quedar estirados y después inician un movimiento lateral semicircular hasta juntarse de nuevo



En los dibujos de la derecha, los cuatro estilos fundamentales de la natación de competición. El *crol* es el estilo más veloz. Se basa en el movimiento alternado y rotatorio de los brazos. El estilo espalda es en la práctica como el *crol*, pero efectuado de espaldas. El movimiento de brazos y piernas es realizado en posición supina. El estilo mariposa deriva del braza. Dentro del estilo mariposa ha surgido la variedad delfín, en la que el nadador imprime a su cuerpo un movimiento ondulatorio que recuerda a un delfín. El estilo braza es el estilo más antiguo y uno de los más naturales porque la posición del cuerpo facilita la flotación. Los movimientos son simultáneos: las manos juntas bajo el pecho son llevadas hacia adelante y luego extendidas lateralmente, mientras que las piernas son flexionadas y luego llevadas hacia atrás con los pies hacia afuera. A la izquierda, prueba de espalda en categoría masculina.

Las competiciones oficiales deben desarrollarse en piscinas de 50 m de longitud. La salida se realiza desde unos bloques situados en el borde de la piscina, excepto en el estilo espalda en que los nadadores parten desde el interior del



bajo el pecho. En ese momento la cabeza se levanta un poco para realizar la inspiración; el aire se expulsa en el resto del ciclo de movimientos. El movimiento de las piernas es en parte sincrónico al de los brazos: se pliegan hasta situarse cerca de la cadera, se extienden lo más abiertas posible y finalmente se juntan.

El *estilo mariposa* es una mezcla del *crol* y del braza. Los brazos efectúan el mismo movimiento rotatorio del *crol*, pero lo hacen simultáneamente. Las piernas pueden efectuar dos movimientos: el impulso del estilo braza, o un movimiento ondulatorio (que constituye la variedad *delfín*). El estilo mariposa es, después del crol, el estilo más rápido, aunque también el más agotador.

Saltos Dentro del programa olímpico de natación se incluyen las competiciones de saltos de trampolín y de palanca. Los primeros se realizan desde una tabla elástica situada a 3 metros sobre el nivel del agua y los segundos desde plataformas fijas a 4, 7,5 y 10 metros de altura. Los jueces oficiales otorgan una puntuación acorde con la belleza y precisión del salto, su ejecución, entrada en el agua, etc., y esta puntuación se multiplica por el coeficiente de dificultad. A mayor dificultad del salto, tanto mayor es el número de dicho coeficiente y, por tanto, mayores las posibilidades de obtener una buena puntuación total. Los saltos consisten esencialmente en la ejecución en el aire de media a tres vueltas sobre el eje transversal del cuerpo (saltos mortales), sobre el eje longitudinal (tirabuzones) o en una combinación de ambas cosas. La salida puede ser de cara al agua (con impulso o sin él) o de espaldas.

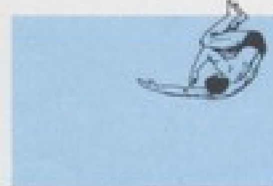
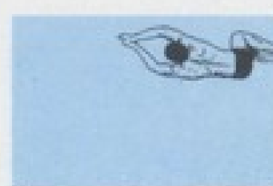
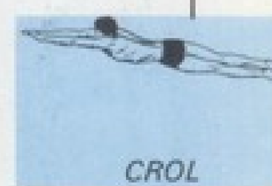
Entrenamiento Una vez que se ha aprendido un estilo, los entrenadores e instructores de educación física recomiendan un método llamado *entrenamiento a intervalos*, para desarrollar la fuerza, la resistencia y la forma física. En la ejecución de tal método, el nadador alterna una serie de piscina con estilos muy fatigosos y otra serie con estilos más relajantes (braza, espalda), repitiendo este ciclo durante todo el transcurso del entrenamiento. Con este método el nadador realiza, en un limitado período de tiempo, un entrenamiento mucho más completo del que obtendría nadando una larga distancia con una marcha lenta. En los últimos años la natación ha experimentado una gran evolución gracias a los nuevos sistemas de entrenamiento: las marcas olímpicas de 1952 están hoy al alcance de niños de 11 ó 12 años. El trabajo invernal en gimnasios (levantamiento de pesas, gimnasia, etc.) ha sido aquí decisivo.

Véase **Cuerpo humano; Esquí**



agua. Cada piscina tiene un mínimo de 6 calles, separadas por cuerdas sostenidas por material flotante. Al finalizar un largo el nadador debe tocar la pared y dar la vuelta girando de cabeza dentro del agua o de lado, según el estilo de que se trate. Las competiciones oficiales pueden desarrollarse en piscinas de agua dulce o salada. El agua salada o mixta ofrece menos resistencia y permite la obtención de mejores resultados. A la derecha, prueba de estilo mariposa.



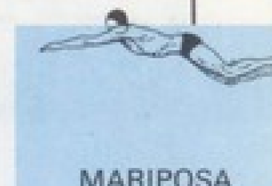




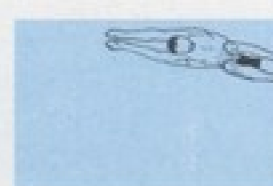











Naval, construcción

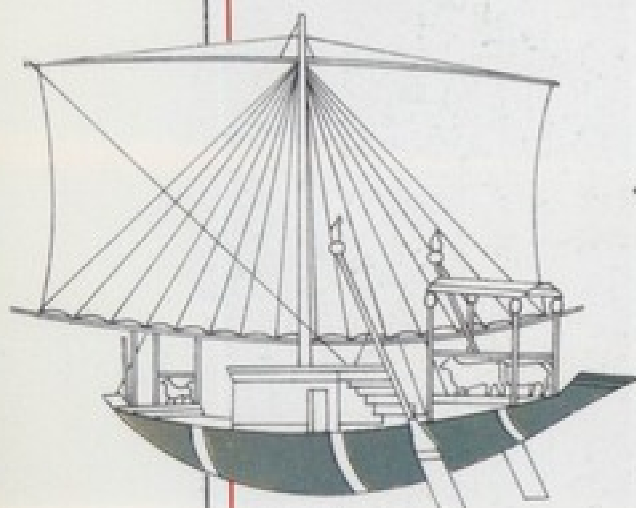
Las naves marinas son estructuras construidas para transladarse en el medio acuático y transportar mercancías y pasajeros. Para cumplir adecuadamente con su función, la nave debe flotar, esto es, debe estar en condiciones de resistir las arremetidas del viento, de las olas y de las tempestades que puedan producirse en el mar; debe disponer de los oportunos espacios donde alojar la carga y las personas que transporta; debe, además, poder ser dirigida, de forma que llegue a su destino y se traslade a una velocidad razonable y económicamente rentable, con un riesgo mínimo de averías.

Ese conjunto de características no constituye un objetivo nuevo, hace más de 6.000 años que el hombre trata de alcanzarlo.

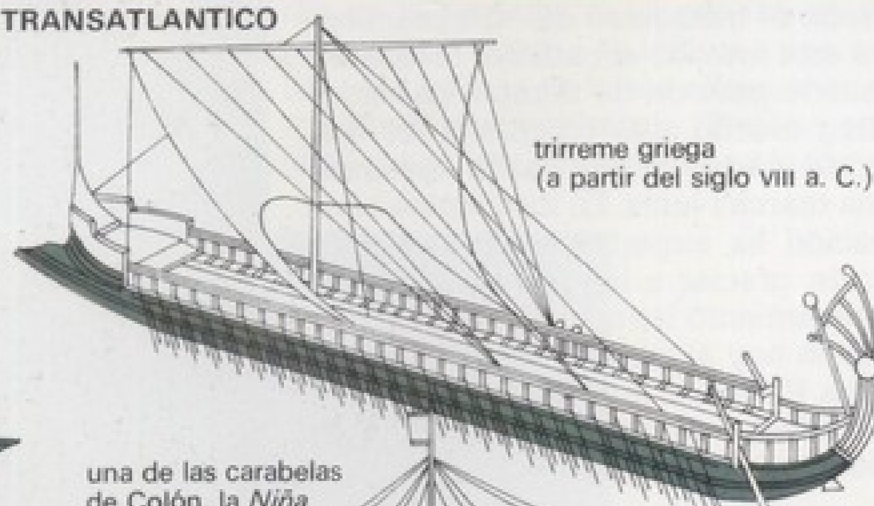
En el curso de ese esfuerzo, se ha pasado de las naves de junco construidas por los egipcios, a las birremes y trirre-



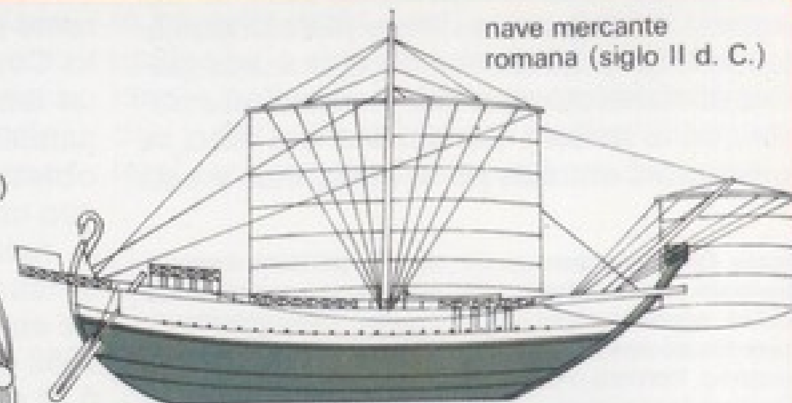
DE LA NAVE EGIPCIA AL TRANSATLANTICO



barco de vela egipcio (a partir del 3.000 a. C.)



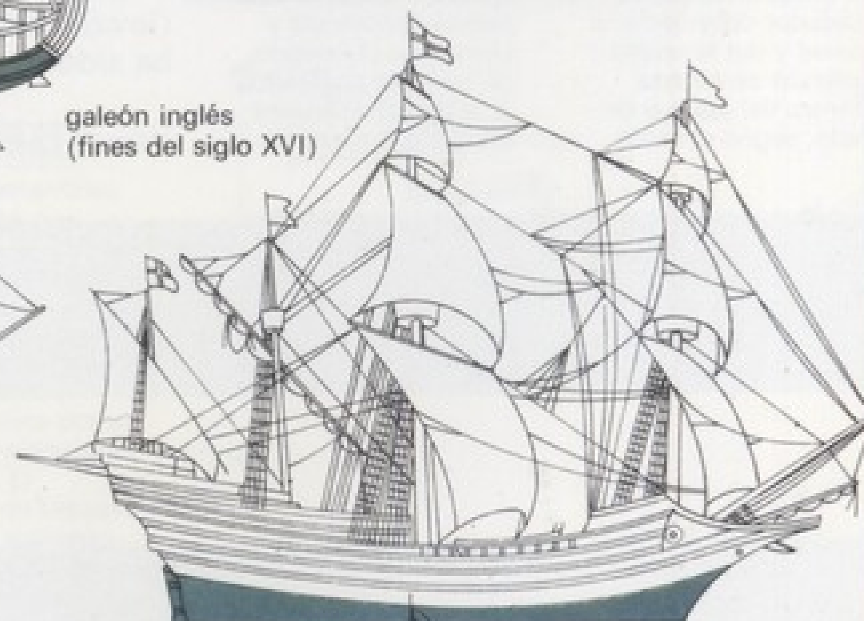
trirreme griega (a partir del siglo VIII a. C.)



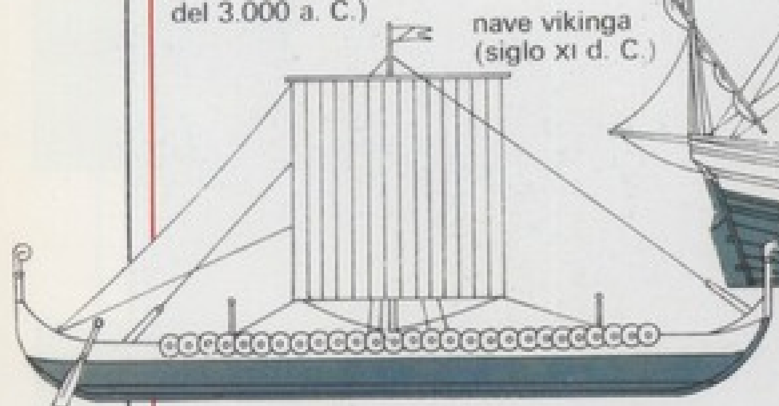
nave mercante romana (siglo II d. C.)



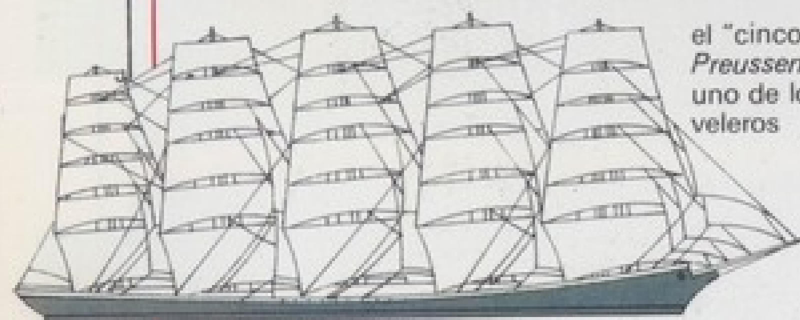
una de las carabelas de Colón, la *Niña* (fines del siglo XV)



galeón inglés (fines del siglo XVI)



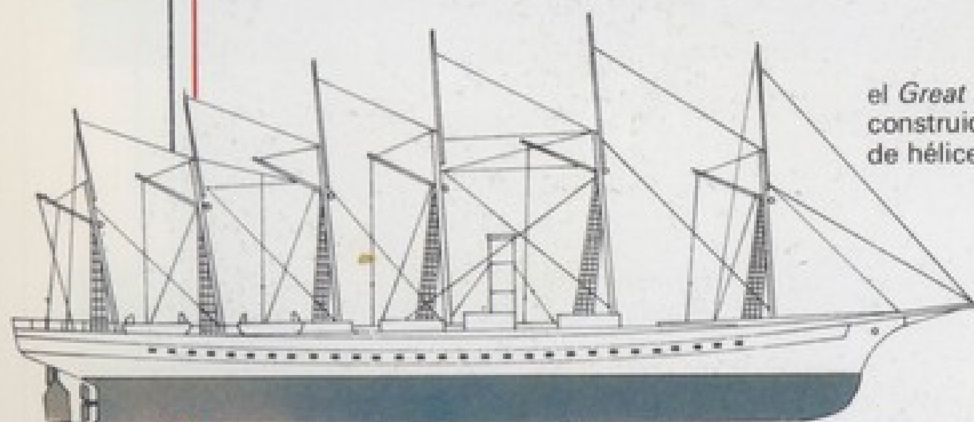
nave vikinga (siglo XI d. C.)



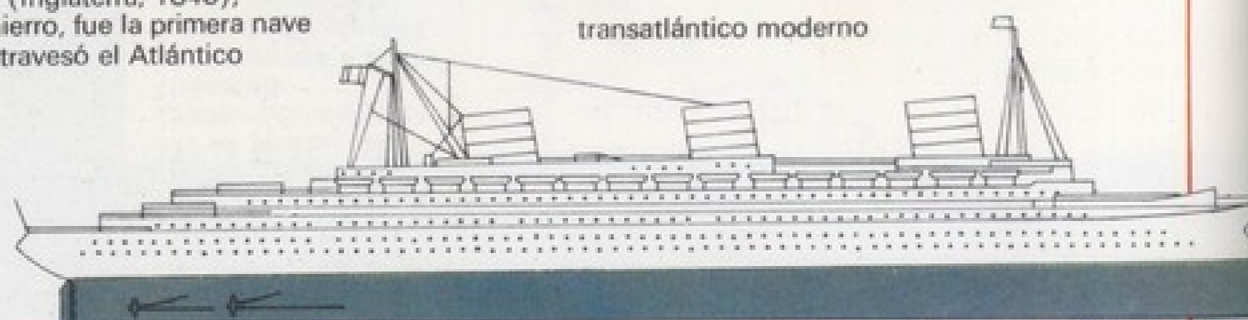
el "cinco palos" alemán *Preussen* (botado en 1902), uno de los últimos grandes veleros



el *Clermont*, de Fulton (EE UU, 1807), la primera nave de propulsión mecánica en servicio regular



el *Great Britain* (Inglaterra, 1843), construido en hierro, fue la primera nave de hélice que atravesó el Atlántico



transatlántico moderno

En la página anterior, arriba, el barco del Missisippi, hotel flotante que prestaba servicio en el siglo pasado y a comienzos del presente entre Nueva Orleáns, Luisiana y San Luis. Abajo, la evolución de las naves a lo largo de la historia. Las naves primitivas disponían de un sistema de velas muy rudimentario y se ayudaban de los remos para maniobrar. Las naves de los siglos XVI y XVII estaban provistas de grandes cascos y de un velamen que sólo permitía tomar el viento en popa. Los mismos *cliper* que aparecen en el siglo XVIII, y cuya navegación se desarrolla a lo largo del siglo XIX, aunque veloces, sólo podían recibir el viento de popa o como máximo de través. Estaban dotados de velas cuadradas y disponían de tres, cuatro y cinco palos. En seguida se construyeron dos híbridos (antepenúltimo y penúltimo, abajo), que aprovecharían tanto fuerza de vapor como la del viento, aunque formando sistemas de escasa eficacia. El progreso de la mecánica posibilitó el triunfo de la solución todo vapor (abajo a la derecha). En la fotografía de esta página, a la derecha, un moderno barco que puede servir como factoría para la pesca, portacontenedores, etc.



mes (naves propulsadas por dos o tres series de remos movidos por esclavos o presos), que eran las típicas galeras griegas y romanas, y después a los barcos de vela. A través de modificaciones cada vez más complejas y perfeccionadas, las naves a vela dominaron los mares hasta la invención de los buques a vapor, a principios del siglo XIX. Durante todo ese tiempo, los principios básicos de la construcción naval han variado relativamente poco; sin embargo, han mejorado sensiblemente los materiales y las técnicas.

Básicamente, una nave consta de una quilla, que resiste el peso longitudinalmente; de las cuadernas, que están fijadas a la quilla y se curvan hacia arriba para dar al barco su forma; de las planchas, fijadas a las cuadernas, que hacen que la nave sea impermeable al agua; y de los puentes y superestructuras, que ocupan el interior hueco del buque, formando los alojamientos para la tripulación y pasajeros y proporcionando espacios para los controles operativos y los avituallamientos necesarios.

Durante siglos las naves se han construido de madera y eran propulsadas por medio de velas suspendidas de altos palos. Los pioneros de la navegación a vela fueron los griegos, los cretenses, los fenicios y los romanos, todos ellos pueblos asentados a lo largo de las costas del Mediterraneo. Por su parte, los vikingos, que construían grandes naves descubiertas que podían moverse indistintamente a vela o a remo, eran los dueños del Atlántico norte.

Un avance importante en el barco de vela lo constituyó el *cliper*, que apareció en escena a comienzos del siglo XIX. Largo y esbelto, con una proa estrecha y prominente, el *cliper* supuso un cambio radical con relación a las estructuras precedentes, de proas macizas y formas más robustas.

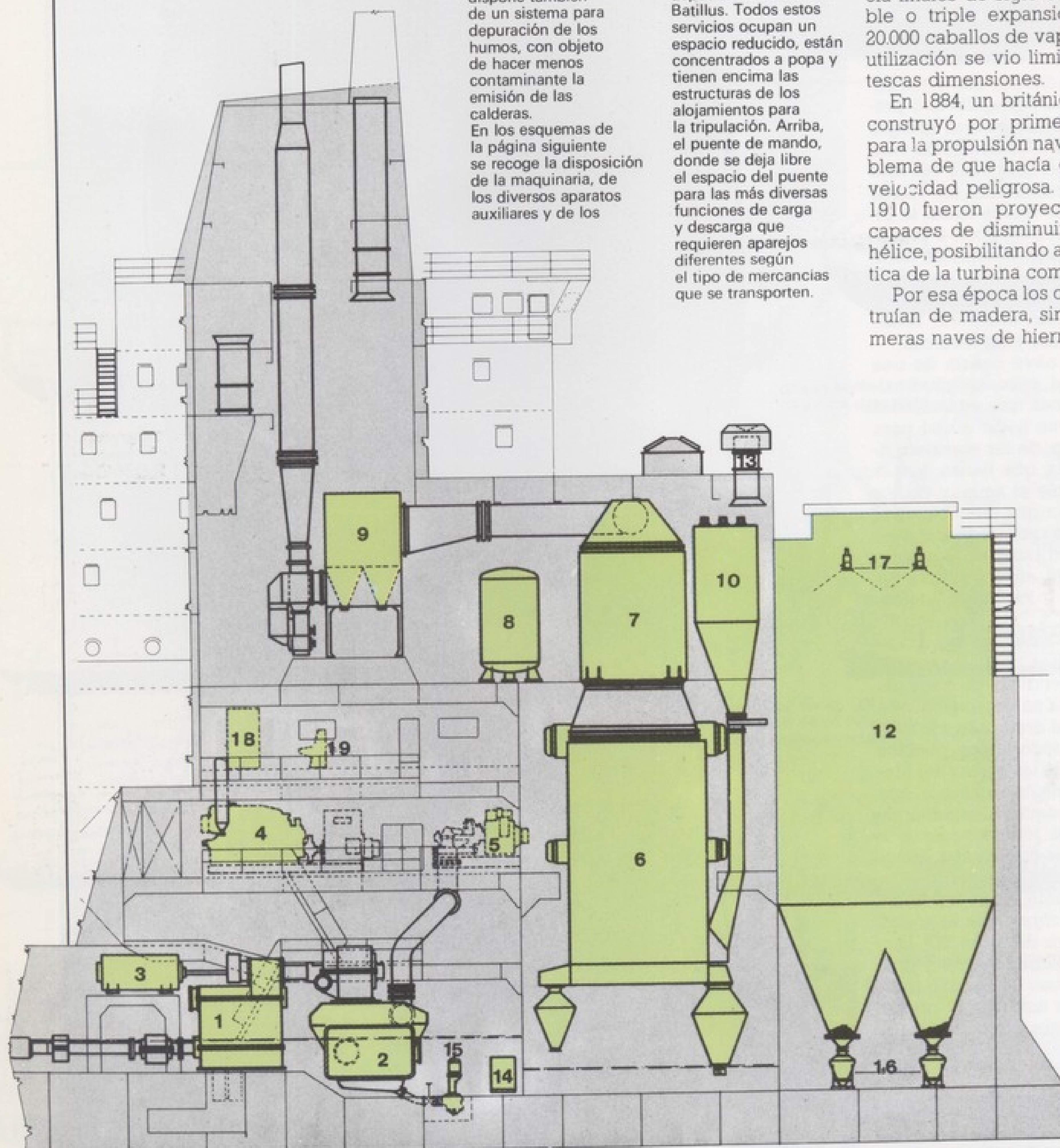
El nombre de Roberto Fulton ha pasado a la historia como inventor de la nave de vapor, pero fue otro norteamericano, John Fitch, quien hizo funcionar con éxito

ya en 1787 un barco accionado por vapor, 20 años antes que el *Clermont* de Fulton efectuara su primer viaje de Nueva York City a Albany, con un recorrido de unos 240 km. Sin embargo, por falta de apoyo financiero, el proyecto de Fitch no siguió adelante. John Stevens, un contemporáneo de Fulton, dio un notable impulso a la técnica de construcción naval al establecer en 1804 algunos principios fundamentales para los buques de vapor: la nave estaba equipada con una caldera de varios tubos, debía emplear vapor a alta presión y tenía que utilizar una hélice en lugar de la rueda de paletas. La hélice estaba provista de cuatro brazos cortos y de forma helicoidal. Con el tiempo sus principios se revelaron básicamente correctos.

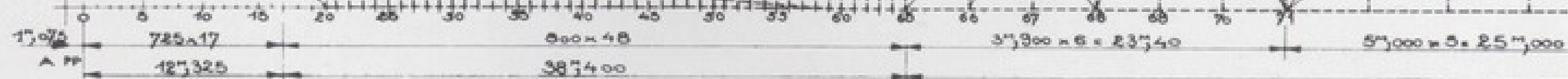
Las primeras naves de vapor utilizaban vapor a baja presión, producido en una caldera cuadrada que funcionaba con carbón o leña. El vapor entraba en un único cilindro, donde se expandía y hacía girar el árbol que, a su vez, accionaba la hélice. Como el vapor a baja presión tiene una presión apenas superior a la atmosférica, el empuje que se lograba era relativamente modesto y, en la búsqueda de mayor potencia, los ingenieros proyectaron calderas, pistones y cilindros de dimensiones cada vez mayores. Ello dio como resultado motores de grandes dimensiones. Hacia 1860 se introdujeron calderas cilíndricas, que posibilitaban la producción de vapor a alta presión. El vapor, además, podía hacerse pasar a través de dos o más cilindros de dimensiones crecientes. Hacia finales de siglo estos motores de doble o triple expansión producían hasta 20.000 caballos de vapor, pero también su utilización se vio limitada por sus gigantescas dimensiones.

En 1884, un británico, Charles Persons, construyó por primera vez una turbina para la propulsión naval, pero tenía el problema de que hacía girar la hélice a una velocidad peligrosa. Sin embargo, ya en 1910 fueron proyectadas transmisiones capaces de disminuir la velocidad de la hélice, posibilitando así la utilización práctica de la turbina como fuente de energía.

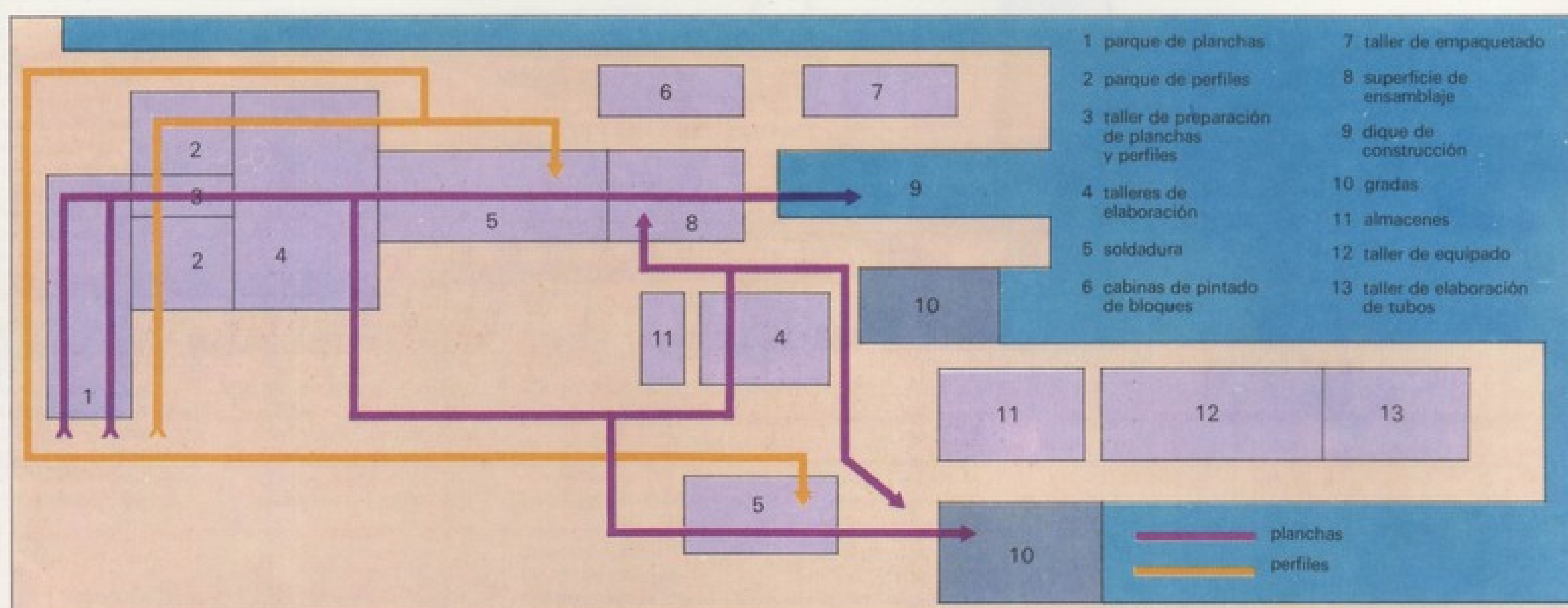
Por esa época los cascos ya no se construían de madera, sino de metal. Las primeras naves de hierro aparecieron hacia

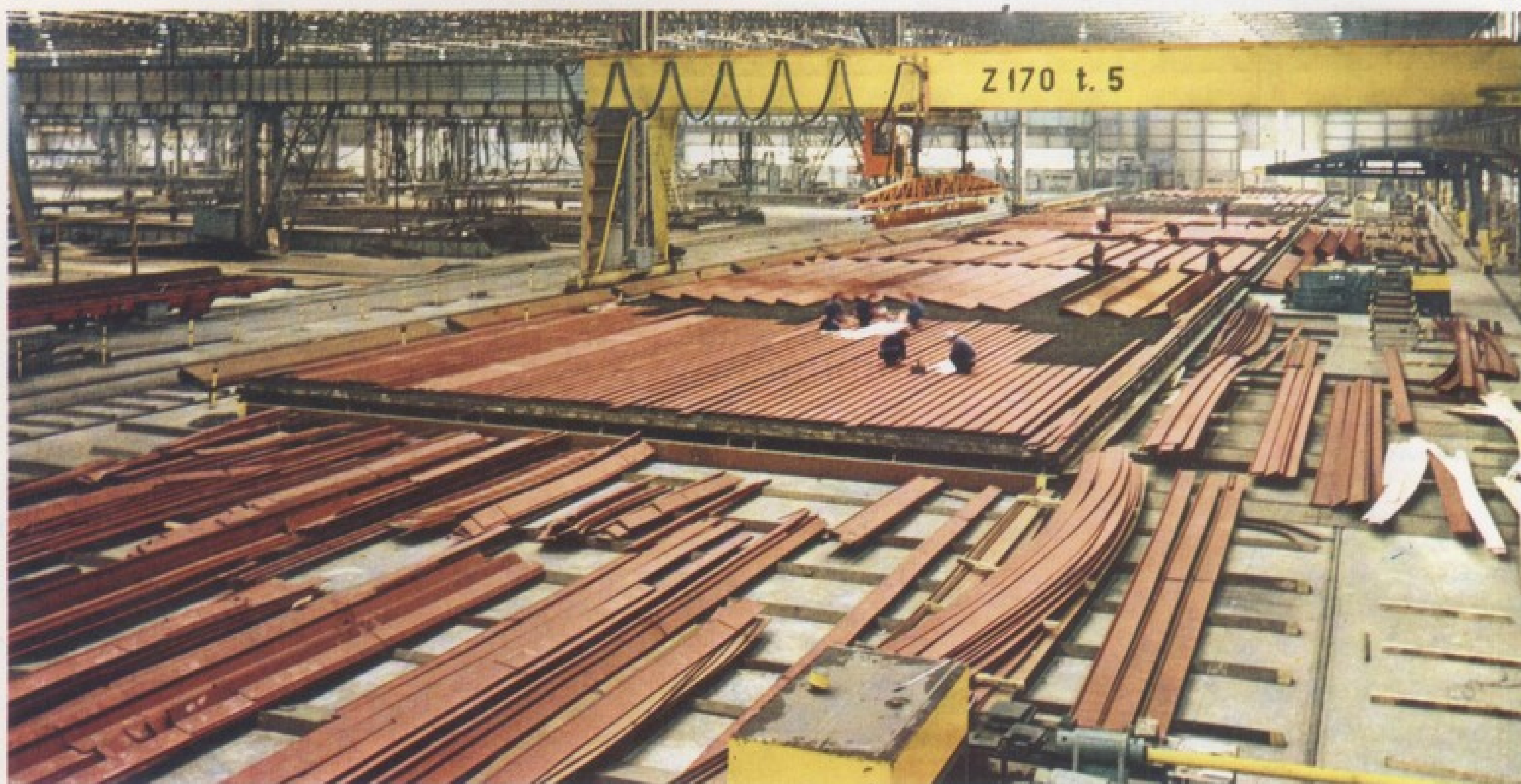


El fuerte aumento del coste de los combustibles derivados del petróleo ha conducido a realizar muchos estudios para volver a llevar la navegación marítima a niveles económicos muy superiores a los del pasado. Por ello se han desempolvado viejos presupuestos y se han formulado también nuevas ideas. Entre las viejas está el factor tamaño. Dentro de ciertos límites, cuanto mayor es una nave, menores son los costes de explotación por kilómetro-tonelada transportada. Se ha pensado también en volver a aprovechar el viento. Sin embargo, para ser competitivo el sistema a vela moderno debe disponer del apoyo de la propulsión mecánica al menos para el caso de ausencia de viento. Abajo, un interesante proyecto para la propulsión a vapor con carbón. Disponemos de carbón en grandes cantidades en los puertos, que puede ser fácilmente cargado a bordo del buque. La fórmula prevé situar la maquinaria a popa como en los petroleros. Nótese que dispone también de un sistema para depuración de los humos, con objeto de hacer menos contaminante la emisión de las calderas. En los esquemas de la página siguiente se recoge la disposición de la maquinaria, de los diversos aparatos auxiliares y de los depósitos a bordo del Batillus. Todos estos servicios ocupan un espacio reducido, están concentrados a popa y tienen encima las estructuras de los alojamientos para la tripulación. Arriba, el puente de mando, donde se deja libre el espacio del puente para las más diversas funciones de carga y descarga que requieren aparejos diferentes según el tipo de mercancías que se transporten.



Alsthom Atlantique s.a. Saint-Nazaire-Francia





Italcantieri-Trieste

1790, y las primeras de acero soldado hacia 1880.

A principios del siglo XX se desarrolló el motor Diesel marino, y los nuevos, trasatlánticos gigantes, destinados al transporte de pasajeros, ya cubrían las rutas del Atlántico y del Pacífico.

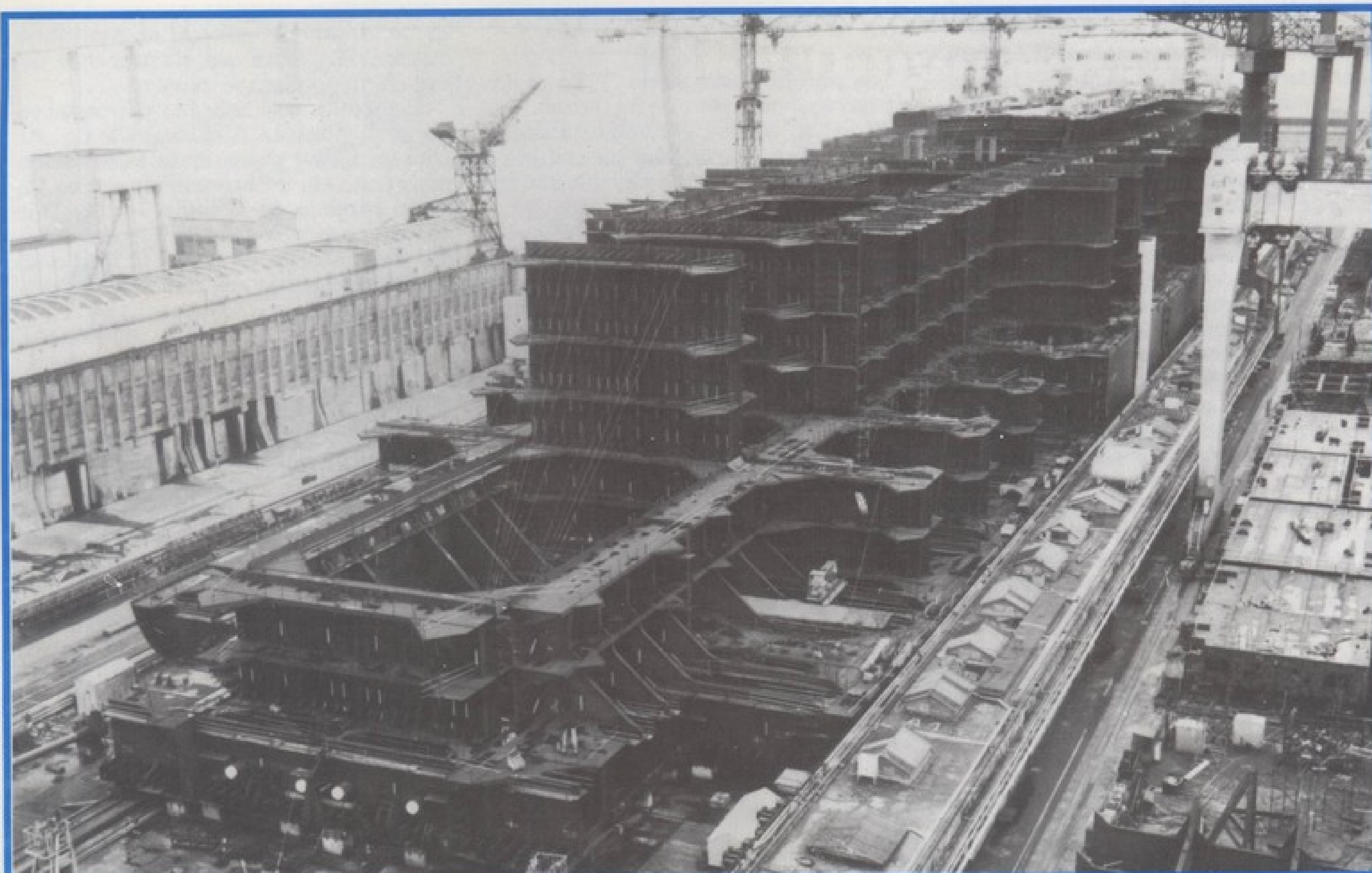
Pero en los años sesenta y setenta de nuestro siglo el transporte aéreo —dada su rapidez— tomo el relevo en el transporte de pasajeros y mercancías de cierto valor y no excesivo peso, quedando relegado al transporte marítimo para cargas de gran peso y, sobre todo, para crudos.

La necesidad de proveer a las industrias del mundo desarrollado de petróleo, procedente en gran cantidad de Oriente Medio, y el alargamiento de las rutas marítimas por el cierre al tráfico del canal de Suez en 1967 llevó a la construcción de grandes superpetroleros, capaces de transportar millones de toneladas de crudo. Posteriormente, en 1975, se volvió a abrir al tráfico comercial el Canal de Suez, pero los superpetroleros —pensados para acceder al Atlántico rodeando Africa por el cabo de Buena Esperanza— eran demasiado grandes para poder atravesar el Canal, por lo que desde entonces han entrado en un período de franca decadencia y están siendo progresivamente sustituidos por barcos de menor tonelaje. Ello ha hecho que, en los últimos años, haya sido necesario acometer importantes proyectos de reconversión de la industria naval en diferentes países, entre ellos España.

En esta página, arriba: la construcción de la nave pasa a través de una compleja sucesión de operaciones de las que se da el esquema lógico. En varios sectores del astillero se preparan y ensamblan bloques enteros del casco y, a veces, estructuras más complejas —como el puente— que posteriormente son transportadas a las gradas y colocadas para su funcionamiento. El aparato motor y los órganos afines se montan generalmente durante la construcción del casco. Antiguamente, en cambio, se tendía a construir casi todo sobre el dique, donde, por otra parte, no es posible llevar maquinaria eficaz. Inmediatamente encima, el almacén de las partes semielaboradas y cortadas correspondientes a la construcción de un casco especial. El coste del transporte con una grúa es modesto y tiene la gran ventaja de poder efectuarse a cubierto, las diversas fases de la construcción. En la página siguiente, el casco de la nave Batillus, donde se ven algunos elementos prefabricados. Abajo, la nave preparada para su botadura.

Véase **Cartas marinas; Navegación**

Fotos: Alsthom Atlantique s.a. Saint-Nazaire-Francia





Navegación

Pájaros, anguilas, salmones, marineros y aviadores tienen todos algo en común: son expertos en la navegación, que es el arte de realizar un viaje de un lugar a otro por tierra, mar o aire. Los pájaros son, quizás, los más sorprendentes "navegantes", si se tiene en cuenta que en sus migraciones estacionales vuelan durante miles de kilómetros sobre los océanos, sin ningún punto de referencia. Otros ejemplos, no menos sorprendentes, son las anguilas (que desde los torrentes del interior del continente americano atraviesan el mar de los Sargazos —en el centro del océano Atlántico— para llegar a los ríos europeos) y los salmones (que, análogamente, llevan a cabo extraordinarias empresas de navegación: partiendo de aguas frías atraviesan océanos para desovar en el interior de los continentes y regresar luego al punto de partida). Comparado con estas criaturas, el hombre todavía es un navegante inexperto; además, utiliza instrumentos para hallar la ruta, mientras que los animales mencionados se orientan siguiendo el sol y las estrellas (aves) o por las corrientes marinas (peces).

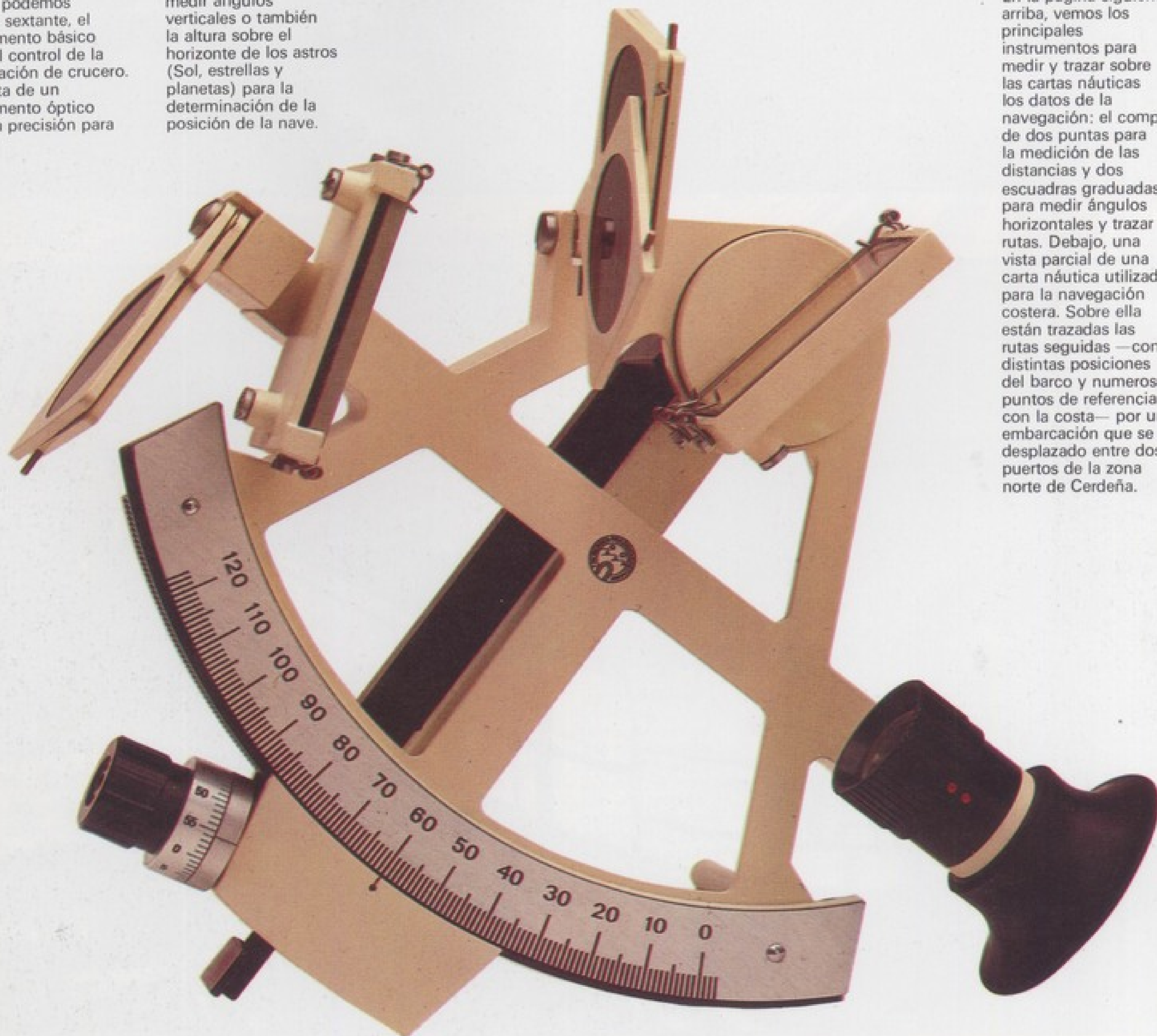
Los primeros navegantes Los primeros navegantes fueron los polinesios del Pacífico sur, que encontraron la dirección a seguir para desplazarse de una isla a otra uniendo bastones y conchas que formaban una especie de carta náutica primitiva. En el período medieval, europeos y árabes empezaron, como anteriormente lo habían hecho los fenicios, a anotar sus viajes sobre primitivos mapas, que serían una anticipación de las cartas náuticas. En el Renacimiento, exploradores como Cristóbal Colón y Fernando de Magallanes usaban ya mapas y brújulas —inventadas por los chinos— en sus viajes.

La navegación moderna Los datos principales para la navegación son la dirección (o "ruta"), la velocidad y la distancia recorrida en un determinado tiempo. Para seguir una determinada ruta, se usan todavía en barcos y aviones brújulas de distintos tipos, mientras que para conocer los otros dos elementos se utilizan instrumentos adecuados que, sin embargo, tienen un cierto margen de error.

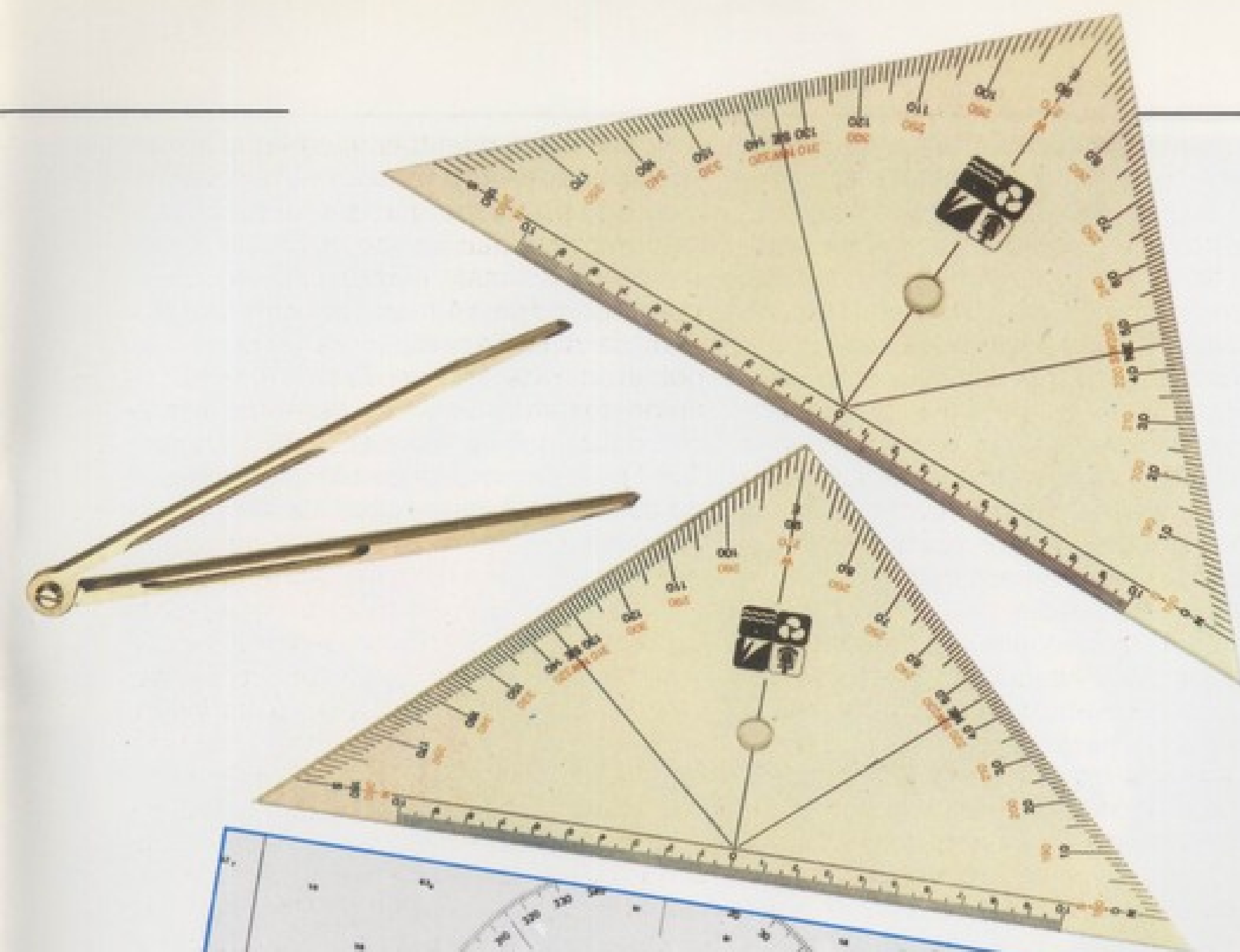
El método más utilizado para establecer la posición en la navegación de crucero se basa todavía en la observación, por medio de un instrumento óptico llamado *sextante*, de la altura —sobre la línea del horizonte— del Sol y de las estrellas. Sin embargo, ya están pasando a ser de uso común nuevos, sofisticados y precisos instrumentos que se basan en la electrónica y en los satélites artificiales.

La antigua brújula magnética, además de estar sujeta a errores derivados de la desviación de la aguja por efecto de masas metálicas eventualmente situadas en las cercanías, indica la dirección del polo magnético, que no se corresponde exactamente con la del polo Norte geográfico. Aun cuando se hagan correcciones utilizando cálculos y tablas, las indicaciones de las brújulas no son siempre exactas. También los mapas, que reproducen so-

Abajo podemos ver un sextante, el instrumento básico para el control de la navegación de crucero. Se trata de un instrumento óptico de alta precisión para medir ángulos verticales o también la altura sobre el horizonte de los astros (Sol, estrellas y planetas) para la determinación de la posición de la nave.



En la página siguiente, arriba, vemos los principales instrumentos para medir y trazar sobre las cartas náuticas los datos de la navegación: el compás de dos puntas para la medición de las distancias y dos escuadras graduadas para medir ángulos horizontales y trazar rutas. Debajo, una vista parcial de una carta náutica utilizada para la navegación costera. Sobre ella están trazadas las rutas seguidas —con distintas posiciones del barco y numerosos puntos de referencia con la costa— por una embarcación que se ha desplazado entre dos puertos de la zona norte de Cerdeña.



bre una superficie plana una porción del globo terrestre, resultan inevitablemente inexactos al representar la línea que une dos puntos de la superficie terrestre mediante una recta en lugar de una curva. De todas formas, el uso de brújulas giroscópicas (que no utilizan el magnetismo terrestre sino el efecto de la rotación de la Tierra sobre una serie de giróscopos), de ondas de radio de alta frecuencia (que por medio de instrumentos adecuados pueden convertirse en "líneas de posición" trazables sobre los mapas) y de "sistemas inerciales" enlazados a elaboradores electrónicos permite actualmente conocer con una extremada exactitud todos los elementos de la navegación aérea, marítima e incluso submarina.

Véase **Brújula; Cartas marinas; Sextante**

Navegación inercial

Quienes alguna vez hayan experimentado la sensación de ser empujados hacia adelante, con el riesgo de caer de bruces, cuando el tren en el que viajaban reducía su velocidad o detenía bruscamente su marcha, podrán entender fácilmente en qué consiste la denominada *navegación inercial.*

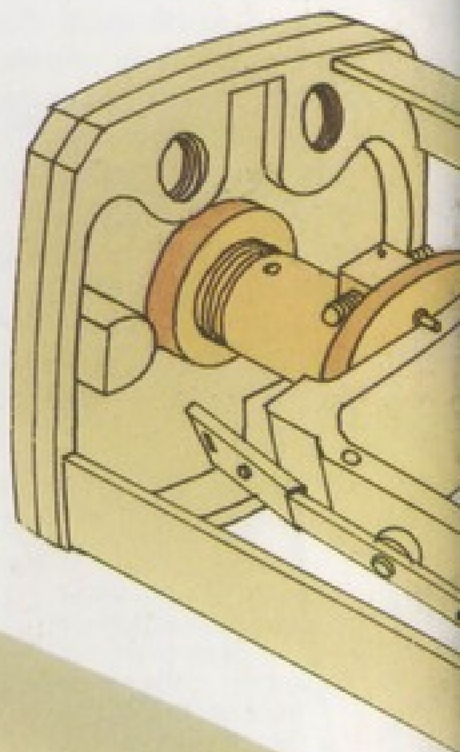
Todo objeto con masa tiene inercia. Precisamente debido a esa inercia los objetos tienden a oponerse a todo cambio en su estado de reposo o de movimiento. Esta es la razón por la cual quienes viajan en un tren tienden a moverse hacia adelante cuando se para el tren. Un objeto colocado en un vehículo que toma una curva se opondrá al cambio de dirección y seguirá moviéndose en línea recta hasta ser detenido por alguna fuerza externa.

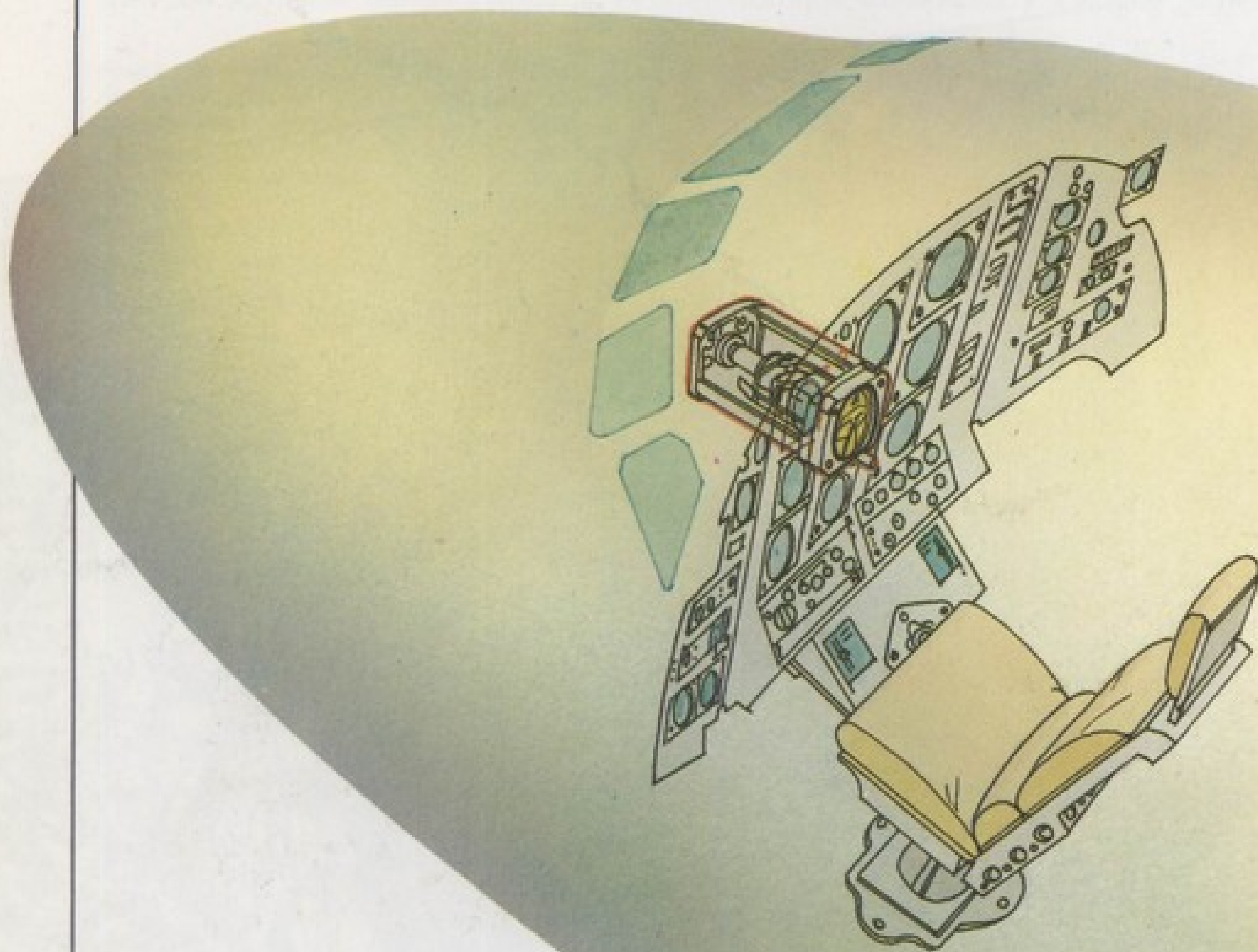
En resumen, un objeto con masa situado en un vehículo manifiesta una tendencia a oponerse a todas las variaciones del estado de movimiento del vehículo.

Los principios básicos de la navegación inercial Los dispositivos para la navegación inercial se basan en los mencionados principios. El primer paso en la realización de un sistema de navegación inercial consiste en colocar una plataforma en el vehículo. Unidos a la mencionada plataforma se colocan tres giróscopos de alta velocidad de rotación. El eje del primero está orientado en la dirección norte-sur; el del segundo, en dirección este-oeste; y el eje del tercero es vertical. Los ejes de los tres giróscopos son, por tanto, perpendiculares entre sí y determinan las tres direcciones del espacio.

Se utilizan giróscopos de rotación rápida porque para vencer su inercia se necesita una fuerza mucho mayor de la que se precisaría para vencer la inercia de cualquier otro objeto con la misma masa.

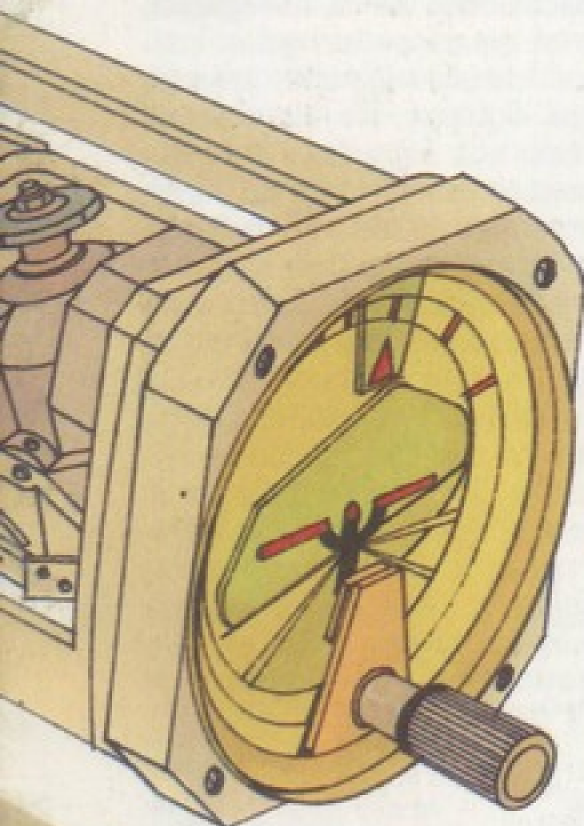
Cuando un vehículo comienza su viaje, las informaciones sobre su posición, en términos de longitud, latitud y altitud, se introducen en el ordenador de a bordo. Naturalmente, la orientación de la plataforma permanece inalterada; esta es la razón por la que se la denomina *plataforma de referencia.* Cuando el vehículo se mueve, por muy lentamente que lo haga, siempre experimenta un cambio de velocidad, es decir, una aceleración. Dicha aceleración ejerce fuerzas sobre uno, dos o los tres giróscopos, que se oponen al movimiento. Los acelerómetros miden la intensidad de estas fuerzas e introducen los datos en el ordenador.

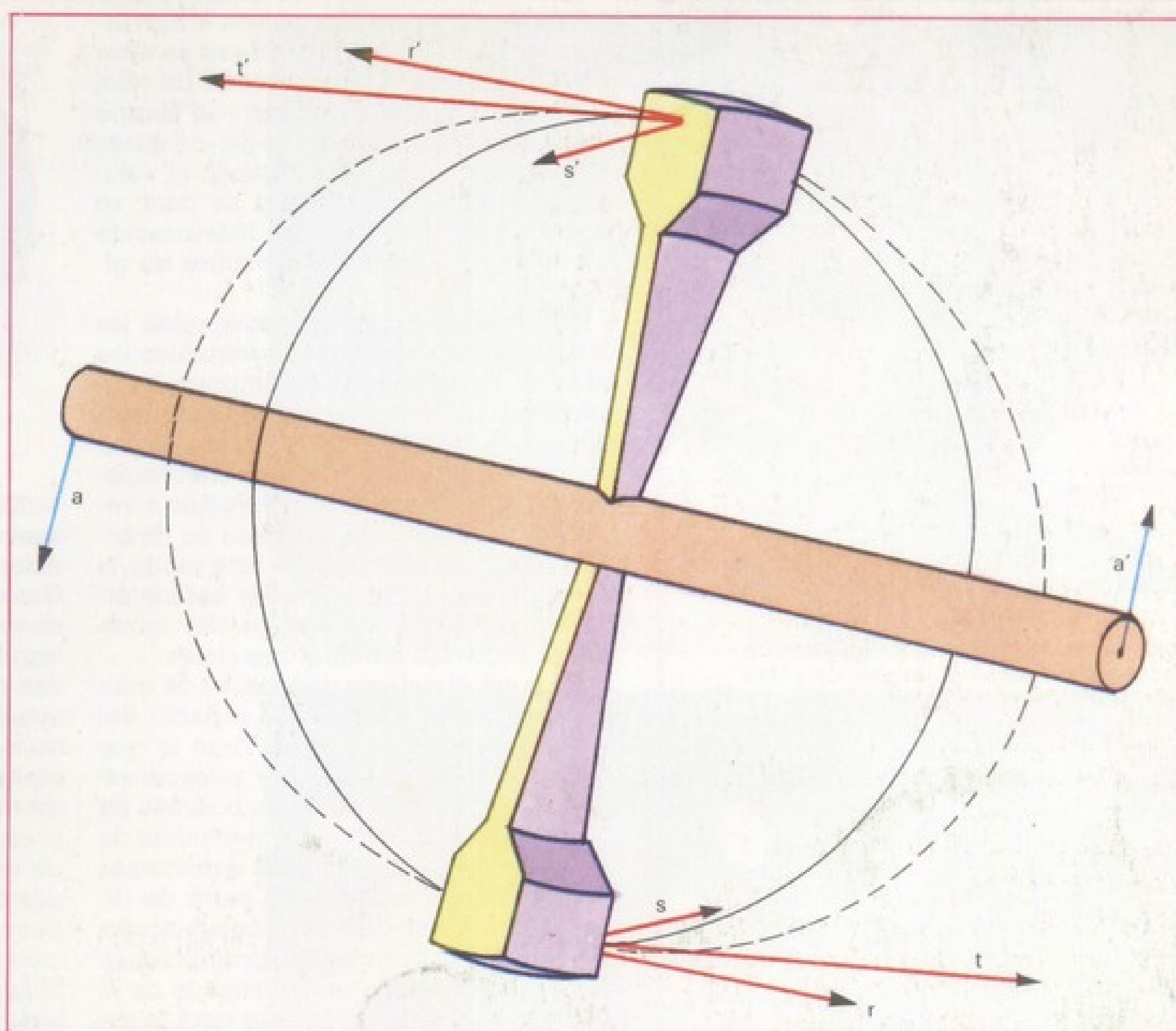




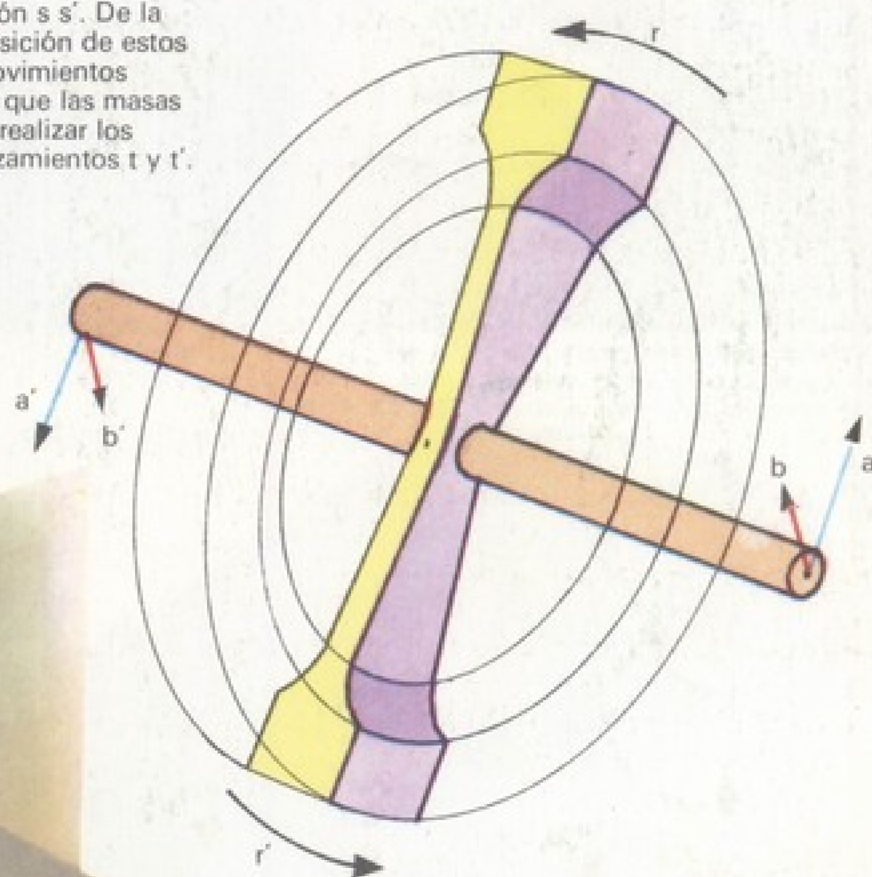
A efectos de determinar instantáneamente la posición y el correcto seguimiento de su ruta, los aviones modernos están equipados con instrumentos capaces de indicar dichos datos, prescindiendo de cualquier punto de referencia externo. Son los instrumentos de navegación inercial. Se basan en fenómenos giroscópicos y en la posición recíproca que toman dos sistemas de referencia: uno considerado fijo, y el otro, unido a la parte giroscópica del instrumento. En el esquema sobre estas líneas se puede ver la instalación típica de un instrumento inercial que suministra los datos sobre la configuración longitudinal y lateral del vuelo del avión. Puede observarse también el lugar que ocupa el instrumento en el panel de mandos de la cabina del avión.

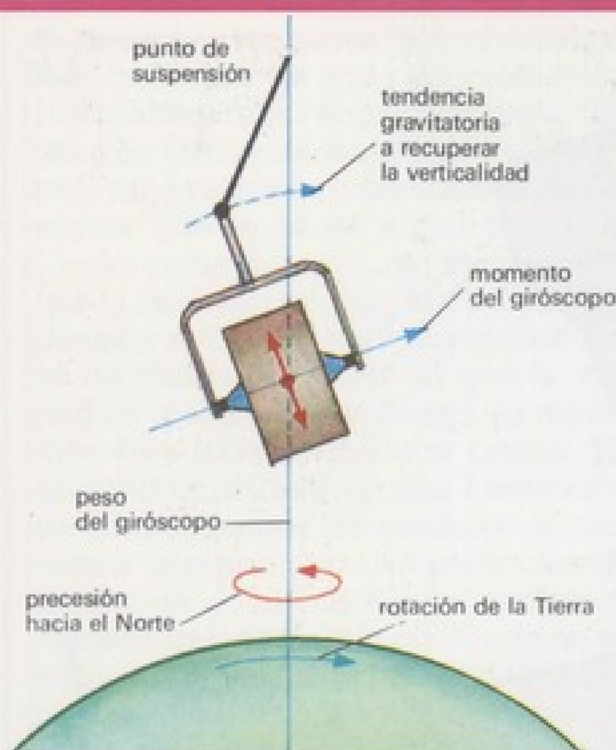
En el dibujo que hay bajo estas líneas se muestra un horizonte artificial, compuesto de un giróscopo con tres grados de libertad y eje de rotación vertical. Un sistema erector asegura la verticalidad del eje. Una escala fija al cuadrante indica la inclinación lateral, mientras que una barra de horizonte indica la posición del horizonte real.



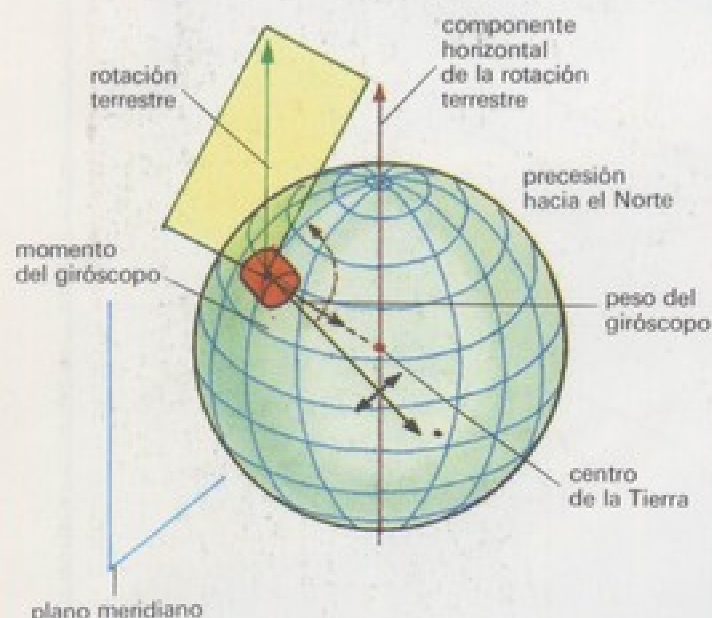


Arriba y a la derecha, esquemas de los principios fundamentales en los que se basa el giróscopo. Dichos principios son: la *tenacidad,* es decir, la tendencia del giróscopo a mantener el eje de rotación fijo en el espacio si no intervienen fuerzas exteriores de notable intensidad; la *precesión,* por la cual, si se perturba el giróscopo mediante un par de fuerzas ortogonales a su eje de rotación, éste girará alrededor de un nuevo eje, perpendicular al eje de rotación y al momento o torque del par. En el esquema de al lado, si se aplica un par de fuerzas en el sentido indicado por las flechas a y a', el eje de rotación del giróscopo girará en el sentido indicado por las flechas b y b'. Para comprender dicho fenómeno, considérese sólo una porción de giróscopo. Las dos masas en rotación siguen las direcciones indicadas con r y r'. Si se impone (arriba) al eje del giróscopo un desplazamiento según las direcciones a y a', las dos masas deben moverse según la dirección s s'. De la composición de estos dos movimientos resulta que las masas deben realizar los desplazamientos t y t'.

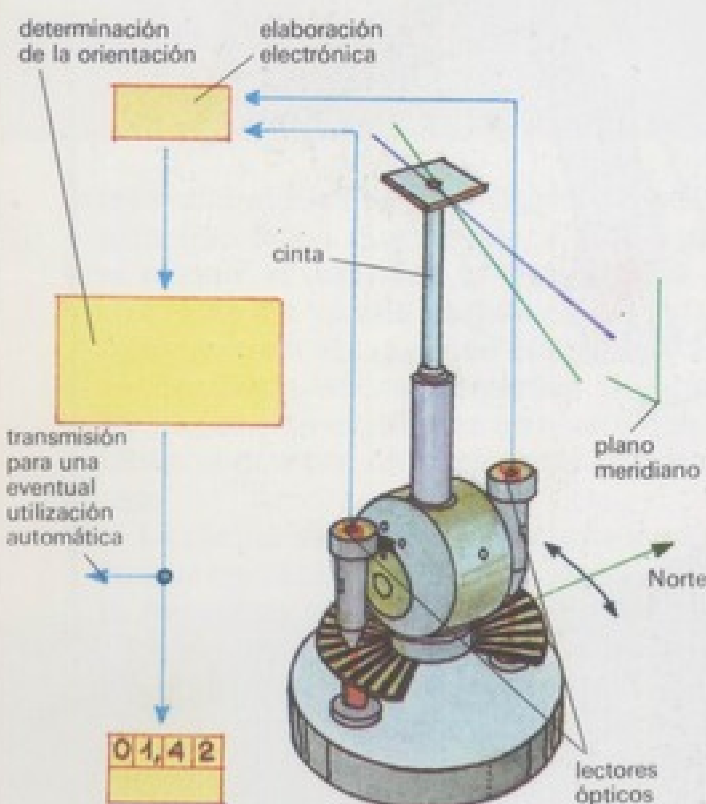




Esquema de las componentes del movimiento de un giróscopo de eje horizontal de rotación y libre de ligaduras. El eje de rotación oscila simétricamente respecto al plano meridiano que



pasa por su punto de suspensión. En el centro, esquema del movimiento de precesión hacia el Norte de un giróscopo de eje horizontal. Abajo, esquema del péndulo giroscópico empleado para



la localización del Norte. El giróscopo se encuentra suspendido por una cinta. Después de la regulación horizontal, se libera el giróscopo y comienzan sus oscilaciones, cuyo seguimiento indicará la dirección del plano meridiano.

Cuando el vehículo empieza a moverse con velocidad constante, ya no se ejercen fuerzas sobre los giróscopos. Un reloj de precisión mide el intervalo de tiempo durante el cual el vehículo se desplaza con velocidad constante. Cuando el vehículo reduce su velocidad o se para, se produce una deceleración. Nuevamente se vuelven a ejercer fuerzas sobre los giróscopos.

El acelerómetro, como antes, mide las intensidades de las fuerzas e introduce los datos en el ordenador. No importa la dirección en que se mueva el vehículo: adelante, atrás, hacia arriba, hacia abajo o lateralmente. Todas las fuerzas serán registradas y el movimiento del vehículo a velocidad constante, sea cual sea su dirección, será cronometrado. De este modo, la dirección del vehículo puede ser determinada mediante los efectos del movimiento sobre los sistemas inerciales.

Así pues, el sistema descrito es de gran ayuda en viajes a través del espacio, del medio aéreo y bajo el mar. Todo lo que un navegante necesita saber para determinar, en un cierto instante, la posición de su vehículo en movimiento es el punto de origen del viaje, las distintas direcciones y velocidades mantenidas a partir de dicho origen y las distintas aceleraciones, que, junto con su duración, proporcionan los datos necesarios para el trazado de la ruta recorrida. Un instrumento para la navegación inercial (un *sistema automático de guía*) suministra todos esos datos.



Algunas aplicaciones de la navegación inercial Los submarinos se guían mediante equipos de navegación inercial. Gracias a estos equipos, los navegantes no necesitan salir a la superficie para determinar la posición observando las estrellas, o para captar las señales de radio de ayuda a la navegación marítima. Los instrumentos para la navegación inercial no emiten ni reciben señales de ningún tipo, de manera que es muy difícil detectar la presencia de un submarino que disponga de este sistema de navegación. Los equipos de navegación inercial suministran al puente de mando una continua información sobre la posición. Estos equipos son utilizados también en los misiles balísticos. La trayectoria es calculada previamente y sus datos introducidos en un ordenador acoplado en la cabeza del misil y que ac-

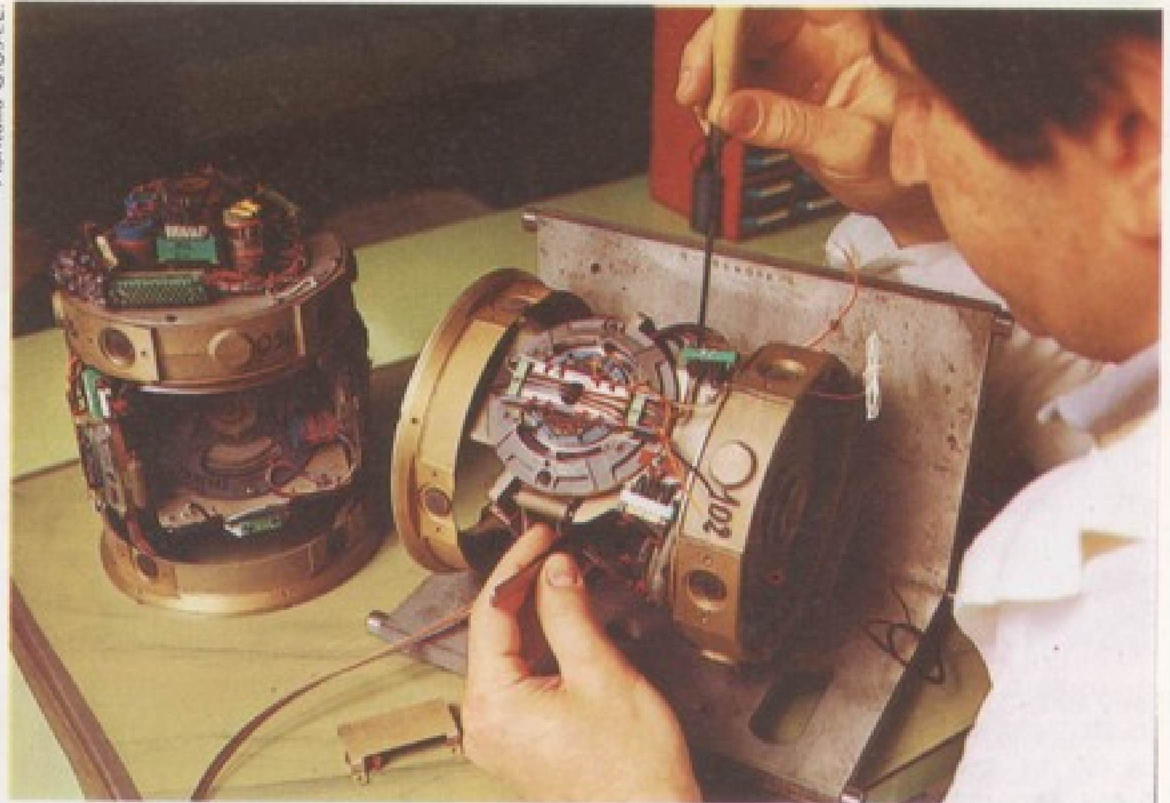


A la derecha, los tres componentes de un girocompás: el sistema se obtiene por el acoplamiento de un giróscopo direccional y de una brújula magnética. Si la señal de ruta no corresponde a la posición del giróscopo, el amplificador de acoplamiento corrige la alineación del giróscopo en función de la señal de ruta.

Aeritalia G.S.A.E.

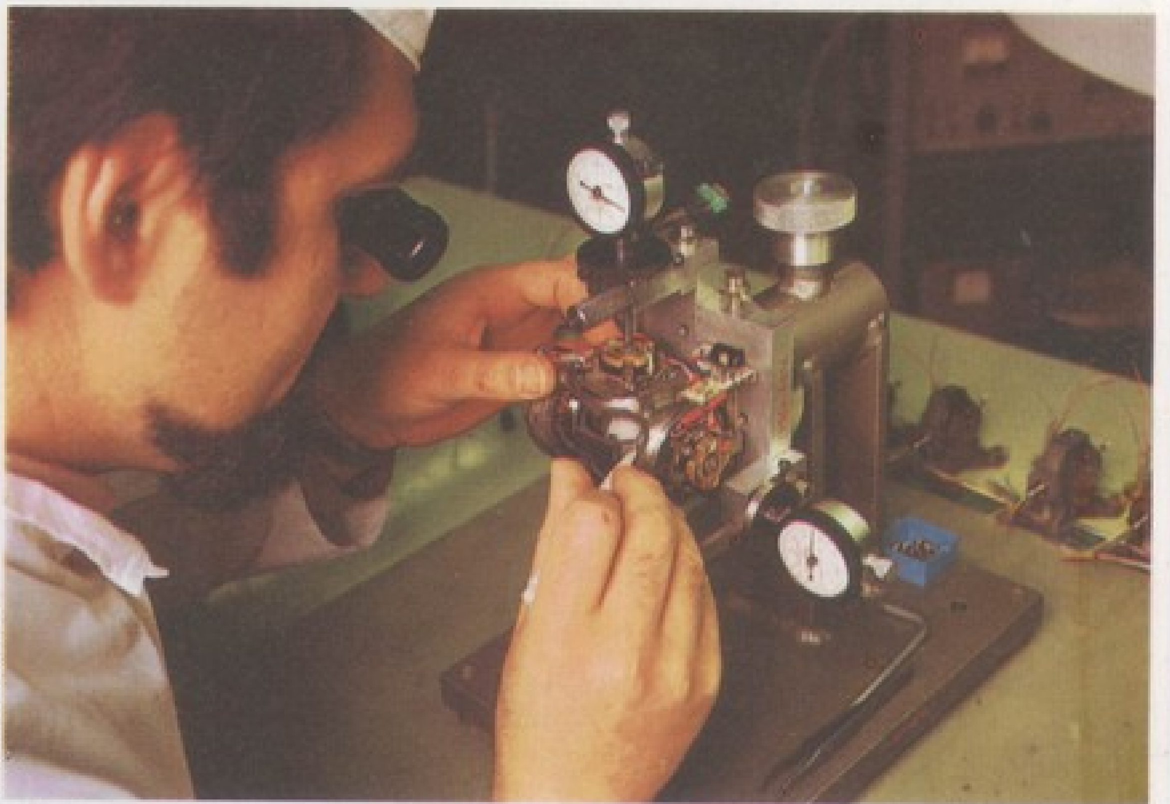


A la izquierda, una plataforma giroscópica, aparato que determina los ejes de referencia respecto a los que se establecen las direcciones de los ejes de la plataforma de los acelerómetros. Dicha plataforma debe girar continuamente durante el vuelo a fin de mantener su horizontalidad sobre la trayectoria.



túa como sistema de guía. Durante el vuelo, los instrumentos de navegación inercial informan al ordenador sobre la posición exacta del misil. Si la posición programada y la real no coinciden, el ordenador se encarga de accionar los propulsores de corrección direccional que modificarán la trayectoria del misil hasta que ésta sea la correcta. Todo ello debe ser ejecutado rápidamente, ya que los motores de los distintos propulsores funcionan únicamente durante pocos minutos.

Véase **Inercia; Navegación**



A la derecha, fases de montaje y verificación de un giróscopo direccional para plataforma giroscópica. Los instrumentos de navegación inercial tienen una gran importancia en la orientación de aviones y misiles. Esa importancia se deriva de la posibilidad de determinar con gran precisión la posición del aparato sin tener que basarse en fuentes de información u observaciones externas. Por consiguiente, podemos concluir que los instrumentos básicos para la navegación inercial son los acelerómetros, los giróscopos y los cronómetros de precisión para la medición del tiempo.



Navegación interplanetaria

En la actualidad, la ciencia espacial ha evolucionado hasta el punto de poder enviar una nave espacial hacia cualquier planeta, cualquier satélite, y en general hacia cualquier cuerpo celeste del Sistema Solar. Este tipo de viajes requiere, necesariamente, un complejo sistema de navegación interplanetaria, mucho más sofisticado que el de un barco o un avión.

La trayectoria de las naves espaciales Las naves espaciales, a diferencia de los barcos y de los aviones, son lanzadas hacia un cierto planeta y dirigidas sobre un determinado recorrido, o trayectoria, mediante un cohete propulsor. Cuando el cohete ha agotado su combustible —lo que ocurre tras unos pocos minutos de vuelo—, la nave debe continuar su viaje sin ninguna ayuda o, sólo en parte, con la de un motor propulsivo. Entonces la nave espacial viaja como la bala de un cañón, y, exceptuando desviaciones muy pequeñas que son realizadas por pequeños cohetes auxiliares, no puede cambiar de trayectoria.

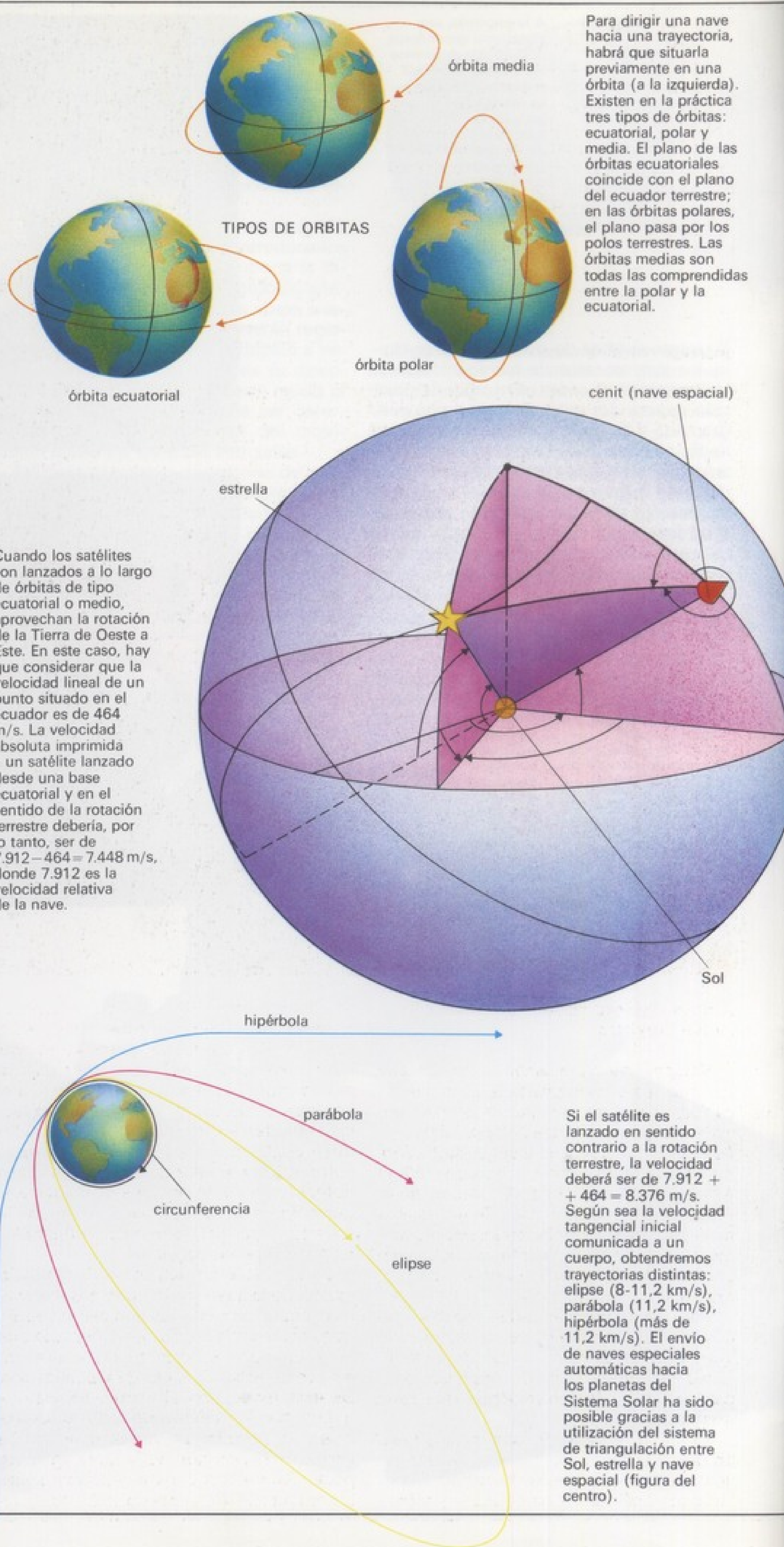
Debido a esta pasividad inercial, las trayectorias de las naves espaciales deben ser programadas con mucha precisión antes de su lanzamiento. Algunos viajes interplanetarios requieren ser calculados con una anticipación de meses, e incluso de años, respecto a la fecha prevista para el lanzamiento de la nave.

Programación del viaje interplanetario Los científicos responsables de calcular la ruta y las posibles incidencias en la trayectoria de una nave espacial saben que, una vez que ésta haya sido lanzada y los cohetes hayan agotado su combustible, la nave quedará a merced principalmente de su movimiento inercial y de las fuerzas de gravedad que actúen sobre él por parte de la Tierra, del Sol y del planeta de destino (además de, naturalmente, los posibles satélites de éste).

A medida que la nave espacial se aleja de la Tierra, los efectos gravitacionales de ésta disminuyen progresivamente, aunque nunca se anularán del todo. Antes o después, la fuerza de gravedad del Sol comenzará a hacerse notar. Si, después, la trayectoria pasa cerca de otros planetas, también la gravedad de éstos ejercerá temporalmente su influencia. Al final del viaje entrará en juego la gravedad del planeta de destino.

Estas fuerzas gravitacionales, constantemente variables, son las que determinan y dan forma a la trayectoria de la nave en su viaje a través del Sistema Solar, atrayéndola primero en una dirección y después en otra.

Lo que complica las cosas es que cada planeta, lo mismo que sus satélites, tiene su propia órbita, sobre la que se mueve constantemente, dando lugar a que las atracciones gravitacionales ejercidas por estos cuerpos cambien continuamente. No existe mente humana alguna que sea capaz de calcular el efecto combinado de todas estas fuerzas gravitacionales varia-



Para dirigir una nave hacia una trayectoria, habrá que situarla previamente en una órbita (a la izquierda). Existen en la práctica tres tipos de órbitas: ecuatorial, polar y media. El plano de las órbitas ecuatoriales coincide con el plano del ecuador terrestre; en las órbitas polares, el plano pasa por los polos terrestres. Las órbitas medias son todas las comprendidas entre la polar y la ecuatorial.

Cuando los satélites son lanzados a lo largo de órbitas de tipo ecuatorial o medio, aprovechan la rotación de la Tierra de Oeste a Este. En este caso, hay que considerar que la velocidad lineal de un punto situado en el ecuador es de 464 m/s. La velocidad absoluta imprimida a un satélite lanzado desde una base ecuatorial y en el sentido de la rotación terrestre debería, por lo tanto, ser de 7.912 − 464 = 7.448 m/s, donde 7.912 es la velocidad relativa de la nave.

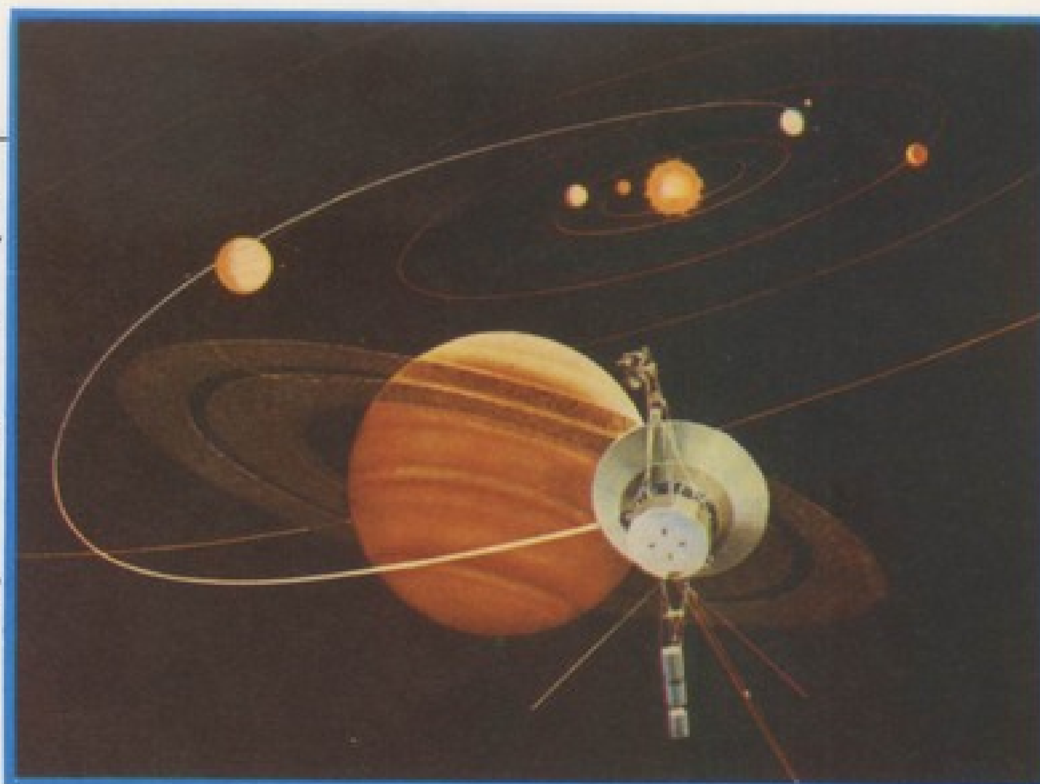
Si el satélite es lanzado en sentido contrario a la rotación terrestre, la velocidad deberá ser de 7.912 + + 464 = 8.376 m/s. Según sea la velocidad tangencial inicial comunicada a un cuerpo, obtendremos trayectorias distintas: elipse (8-11,2 km/s), parábola (11,2 km/s), hipérbola (más de 11,2 km/s). El envío de naves especiales automáticas hacia los planetas del Sistema Solar ha sido posible gracias a la utilización del sistema de triangulación entre Sol, estrella y nave espacial (figura del centro).

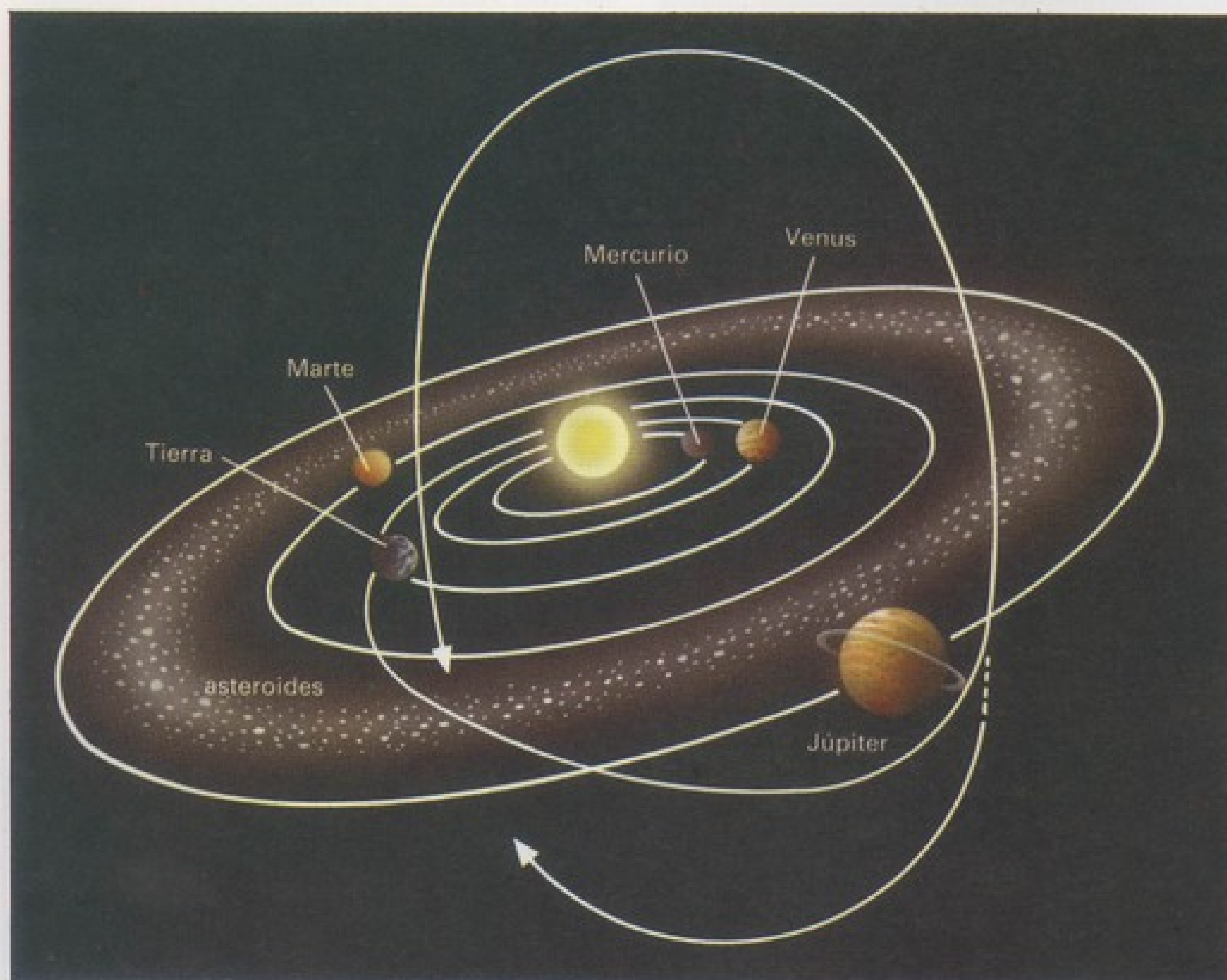
bles: esto resulta posible únicamente con la ayuda de los ordenadores.

Sin embargo, por complejo que sea el problema, los científicos que programan una ruta de navegación espacial cuentan a su favor con la ayuda de numerosos factores. En primer lugar, tanto el movimiento de los planetas como el de sus satélites es conocido con absoluta precisión. En segundo lugar, la atracción del Sol, de los planetas y de sus satélites se ejerce de forma que la nave seguirá en cada caso un cierto tipo de recorrido: una hipérbola, una elipse o un círculo (que no es más que un cierto tipo de elipse).

De este modo, las influencias de los cuerpos celestes sobre la trayectoria de la nave espacial pueden ser matemáticamente previstas.

Esquema de la trayectoria que seguirá la Solary Polar Mission, que permitirá obtener una imagen tridimensional del Sol. El proyecto original preveía colocar simultáneamente dos estaciones automáticas sobre una órbita en dirección de Júpiter: en sus proximidades éste las habría desviado, hacia su polo Norte y hacia su polo Sur respectivamente. Probablemente se enviará una sola sonda. A la derecha, imagen ficticia de la misión *Pioneer 10*.





Equipos de navegación Por mucha que sea la atención prestada en la planificación de una trayectoria, siempre es posible que la nave espacial, por algún fenómeno imprevisto, se aleje de la trayectoria programada. Por ejemplo, una ráfaga rápida e imprevisible de viento solar —constituida por partículas de gas ionizado— que el Sol pueda emitir en un momento determinado puede ser suficiente para desviar la nave fuera de la ruta programada.

Por este motivo, es indispensable que a bordo haya instrumentos de navegación que permitan calcular la posición, la velocidad y la ruta seguida, de forma que puedan realizarse las correciones que sean necesarias.

Las naves espaciales están dotadas a tal fin de un sensor solar y de un sensor estelar, portadores ambos de células fotoeléctricas, análogas a las de los exposímetros fotográficos. El sensor solar (que es móvil) busca el Sol, lo encuentra y se fija sobre él. Análogamente, el sensor estelar busca una estrella-guía específica para la navegación (casi siempre Canopo) y, una vez que la encuentra, se fija en su dirección. Mediante estos sensores puede medirse continuamente la distancia angular entre el Sol y la estrella elegida. Los datos obtenidos son introducidos en un ordenador a bordo de la nave, que determina la distancia a la que se encuentra del Sol y su posición en el espacio.

Para establecer aún mejor la posición exacta de la nave, el ordenador debe analizar continuamente las señales de radio que le son enviadas desde la Tierra, lo que le proporciona un tercer punto de referencia para efectos de su exacta localización. De este modo, con el ángulo Sol-estrella guía y con las señales de radio direccionales, es posible determinar con mucha precisión la posición de la nave en el espacio. Sin embargo, para satisfacer todas las exigencias de la navegación, es necesario también determinar la velocidad y la dirección de vuelo. Estos datos le son proporcionados por un sensible aparato de navegación inercial que se encuentra a bordo. Este aparato consta de tres tipos de giroscopios dispuestos entre sí en ángulo recto, es decir, según los tres ejes direccionales del sistema de referencia utilizado: arriba-abajo, derecha-izquierda, delante-atrás. Los giroscopios son capaces de registrar cualquier variación en el movimiento de la nave, y con la ayuda de un acelerómetro —que determina las deceleraciones de ésta— la velocidad de ruta puede ser continuamente registrada y calculada.

Por otra parte, las señales de radio que le son enviadas desde la Tierra, además de confirmar la dirección, proporcionan datos muy exactos sobre las posibles variaciones de la nave, ya que por mínimas que éstas sean dan lugar a variaciones en la frecuencia de las señales recibidas. Esta variación que experimenta la frecuencia al cambiar la velocidad del receptor es conocida con el nombre de *efecto Doppler;* el efecto Doppler es un fenómeno que podemos apreciar al escuchar el silbido de un tren en movimiento: el silbido es más agudo cuando el tren se acerca y más grave cuando se aleja. Los cambios de velocidad de una nave espacial pueden ser determinados con gran precisión mediante el efecto Doppler: el error cometido es de alrededor de 0,00001% del valor de la velocidad.

De este modo, cuando en el ordenador de a bordo de la nave se introducen los datos relativos a su posición, velocidad y dirección, cualquier problema respecto a la navegación puede ser resuelto.

Si la nave espacial está recorriendo su trayectoria preestablecida, no será necesario aportar corrección alguna. Sin embargo, si el ordenador revela que el vehículo está fuera de ruta, se encargará de improvisar las correcciones necesarias. La rectificación de la ruta puede ser practicada en cualquier momento del vuelo; si es necesario, pueden realizarse tantas correcciones como se considere oportuno.

Véase **Astronáutica; Cibernética; Efecto Doppler; Mecánica celeste; Navegación inercial; Universo**

Nebulosa

A lo largo de los enormes espacios interestelares se encuentran grandes nubes de gas y polvo interestelar, llamadas *nebulosas*. Algunas de ellas, como la Gran Nebulosa, en la constelación de Orión, y la nebulosa del Saco de Carbón, en la Cruz del Sur (constelación del Cisne), pueden ser observadas a simple vista.

Tipos de nebulosas Existen, en general, tres tipos de nebulosas. Las *oscuras* están constituidas en su casi totalidad por polvo que bloquea el paso de la luz procedente de las estrellas situadas tras ellas, dando lugar a que parezcan negras. Las nebulosas de este tipo situadas en la Vía Láctea aparentan ser agujeros, aunque en realidad son nubes de polvo. Por lo general, las nebulosas oscuras miden unos cien años-luz de anchura.

Las *nebulosas de reflexión* difunden la luz de las estrellas cercanas, aparentando así un brillo propio. Llegan a alcanzar un color azul más intenso incluso que el de las estrellas que las rodean, ya que la luz azul se difunde más fácilmente que la roja. Las *nebulosas de emisión* tienen un brillo propio real. La radiación ultravioleta, invisible para el ojo humano, excita los átomos de hidrógeno y oxígeno de estas nebulosas, dando lugar a un fenómeno de fluorescencia. Observándolas mediante un telescopio, las nebulosas de emisión aparecen de un color verdoso.

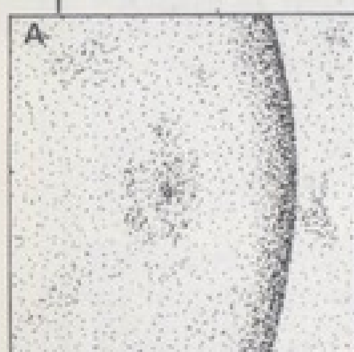
Estructura de las nebulosas Recientemente se ha descubierto que las nebulosas suelen estar asociadas a gigantescas estructuras de nubes moleculares. Estas nubes están formadas, casi en su totalidad, por moléculas de hidrógeno, cada una de las cuales resulta a su vez de la unión de dos átomos de hidrógeno. Estas colosales estructuras contienen también numerosos compuestos orgánicos. Además de hidrógeno y oxígeno, contienen agua, formaldehído, amoniaco, alcohol etílico, y muchos otros compuestos. Actualmente se conocen 53 compuestos orgánicos, aunque se espera encontrar otros. Existen casi 4.000 nubes de este tipo en nuestra Galaxia, y cada una tiene una masa que oscila entre las 100.000 y las 200.000 masas solares. Esto demuestra que los compuestos orgánicos, materiales indispensables para la vida, se hallan dispersos en grandes proporciones por toda la Galaxia, sugiriendo que de algún modo la vida podría existir en otras zonas de la Galaxia.

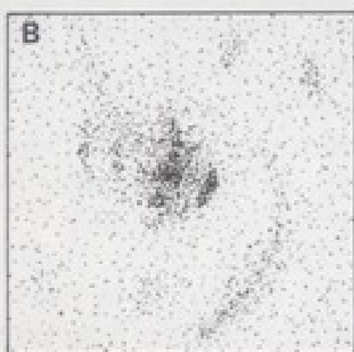
El hidrógeno y el helio presentes en las nebulosas existen desde el principio del Universo. Los elementos más pesados, como el carbono, el nitrógeno y el azufre, de más reciente formación, proceden de las transmutaciones nucleares que tienen lugar en el interior de las estrellas.

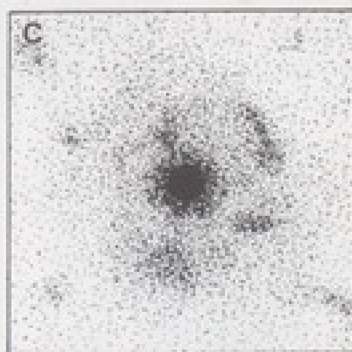
La mayoría de las estrellas, incluido el Sol, libera en todas las direcciones un flujo continuo de núcleos atómicos. Tras la

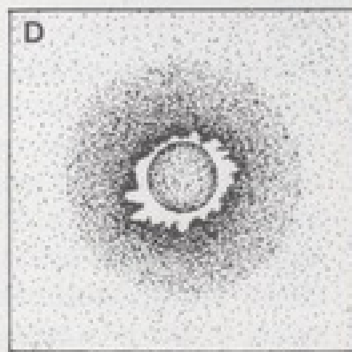


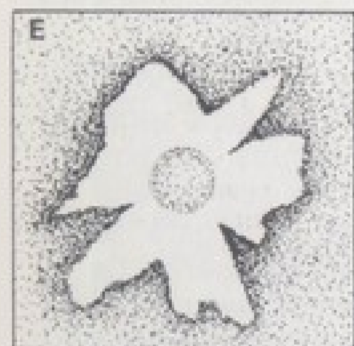






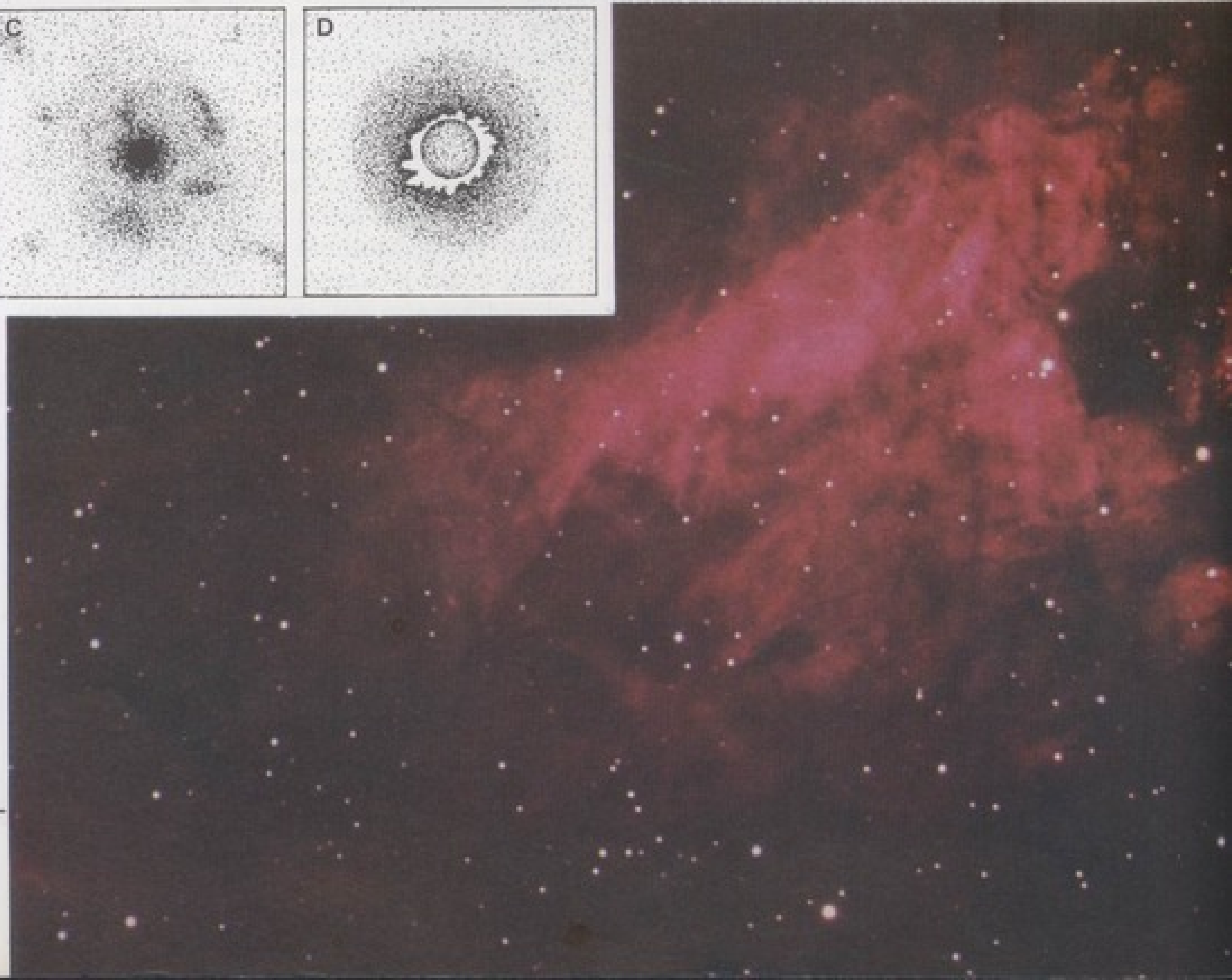








A) nebulosa sobre la que incide la onda de choque producida por la explosión de la supernova; B) comienzan a formarse núcleos de mayor densidad; C) la estrella ya formada está oculta por el polvo; D) la protoestrella empieza a despejar el polvo; E) y F) la estrella es visible.



captura de los electrones necesarios, estos núcleos se convierten en elementos y compuestos interestelares. Por otra parte, las estrellas muy grandes y en las últimas fases de su evolución suelen estallar, convirtiéndose en supernovas y arrojando enormes cantidades de elementos pesados al espacio.

La formación estelar en las nebulosas Los astrónomos han podido observar un gran número de estrellas jóvenes en el interior de las nebulosas, y muchos de ellos piensan que precisamente aquí es donde tiene lugar la formación de la mayoría de ellas. Según estos investigadores, el gas y el polvo se concentran formando densas nubes, que van colapsándose y haciéndose cada vez más densas. Si la nube es muy pesada y la fuerza gravitatoria es fuerte, el hidrógeno se fusionará, como consecuencia del gran calor y de la alta presión. Tendrá así comienzo un largo proceso en el que se alternarán sucesivas reacciones de fusión y colapsos gravitatorios, generando inmenso calor y dando gran brillo a la estrella.

Si el cuerpo celeste no es suficientemente grande, se convertirá en un planeta, o en un cuerpo más pequeño, ya que ni el calor ni la presión serán lo bastante elevados como para dar inicio a las reacciones de transmutación termonuclear.

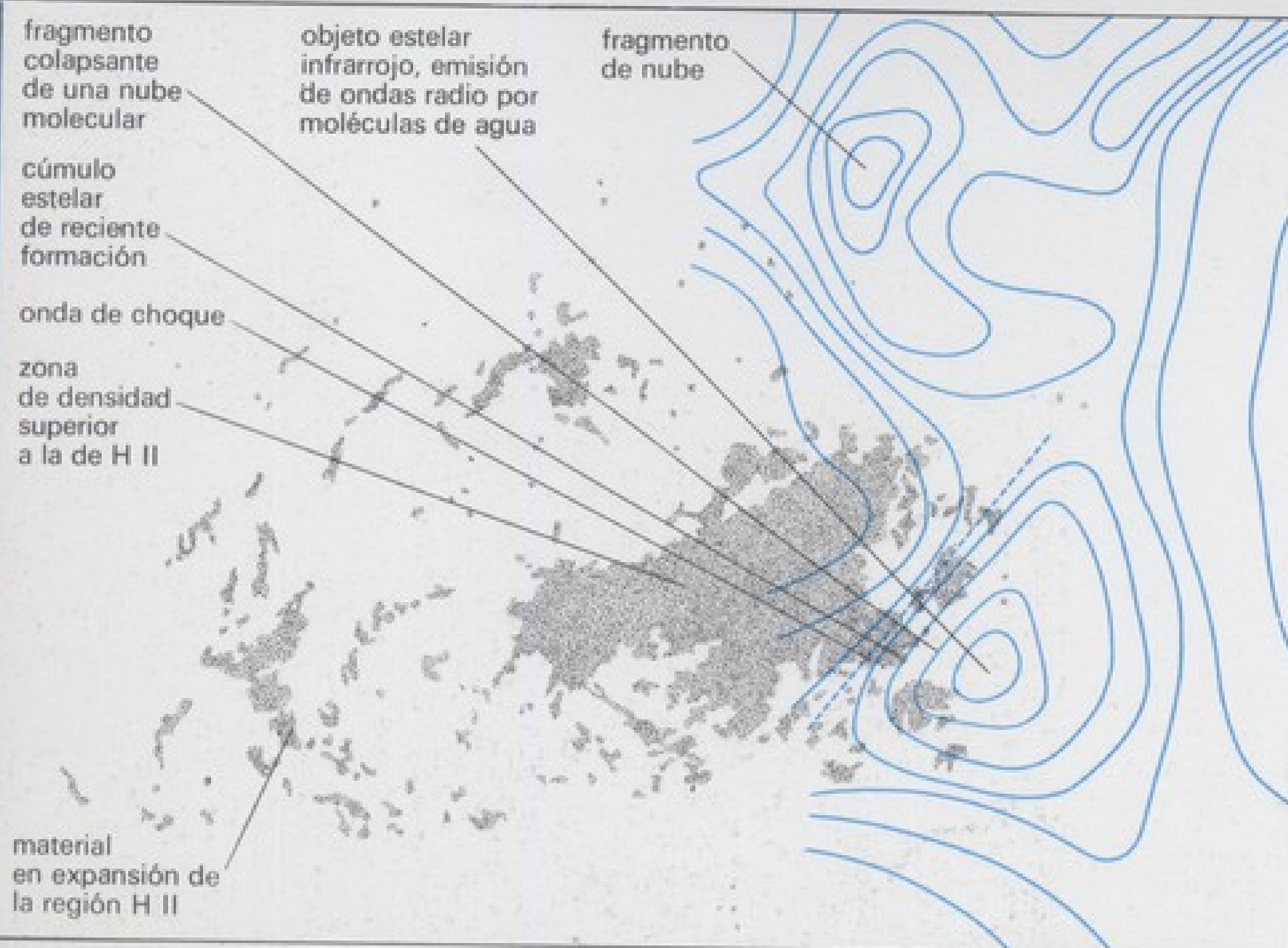
Los astrónomos piensan que el Sol y los planetas de su sistema se formaron en una antigua nebulosa. El gas y el polvo en su interior eran, en gran parte, restos de una vieja supernova. Hace unos 5.000 millones de años, otra supernova debió de estallar. La onda expansiva arrastró el gas y las partículas de polvo de los alrededores, concentrándolos en una densa nube que —por efecto de la atracción gravitatoria— alcanzó la forma de una esfera y adquirió un movimiento de rotación. Atraídos por la acción de la gravedad, el gas y el polvo del centro dieron lugar al Sol. Los planetas se formaron del mismo modo. Así, hace 4.600 millones de años tuvo lugar, supuestamente, la formación del Sistema Solar, incluida la Tierra.

Véase **Estrella; Galaxia; Sistema Solar; Universo; Universo, expansión del; Universo, origen del**

Tipos de nebulosas: en la página anterior, a la izquierda, una nebulosa oscura. Está formada por polvo y algo de gas. En su interior pueden existir estrellas, pero resultan invisibles debido a la opacidad de la nebulosa. A la derecha, las tenues nebulosas de las Pléyades, formadas por residuos de la formación de las mismas estrellas. Abajo, la delicada estructura de una nebulosa planetaria, un envoltorio gaseoso emanado en las fases finales de la evolución de una estrella. En esta página, a la izquierda, la nebulosa de Orión, fragua de estrellas, y a la derecha, glóbulos de estrellas jóvenes en formación a través del polvo y el gas de una nebulosa.
El gas de las nebulosas se encuentra a veces tan disperso que si analizáramos un pequeño volumen del interior de una de ellas descubriríamos un vacío casi total. Sin embargo, hay materia suficiente para difundir la luz emitida por estrellas que están dentro de la nebulosa. A menudo, la asociación polvo-gas impide observar el interior de la nebulosa, y hay que recurrir a métodos basados en el empleo de radiaciones de elevada longitud de onda que atraviesan las nubes de gas y polvo sin sufrir prácticamente absorción. Estas radiaciones son las del infrarrojo y las microondas. Con este método, sin embargo, no es posible obtener imágenes de alta resolución, debiéndonos conformar con representaciones cartográficas como la de la izquierda.







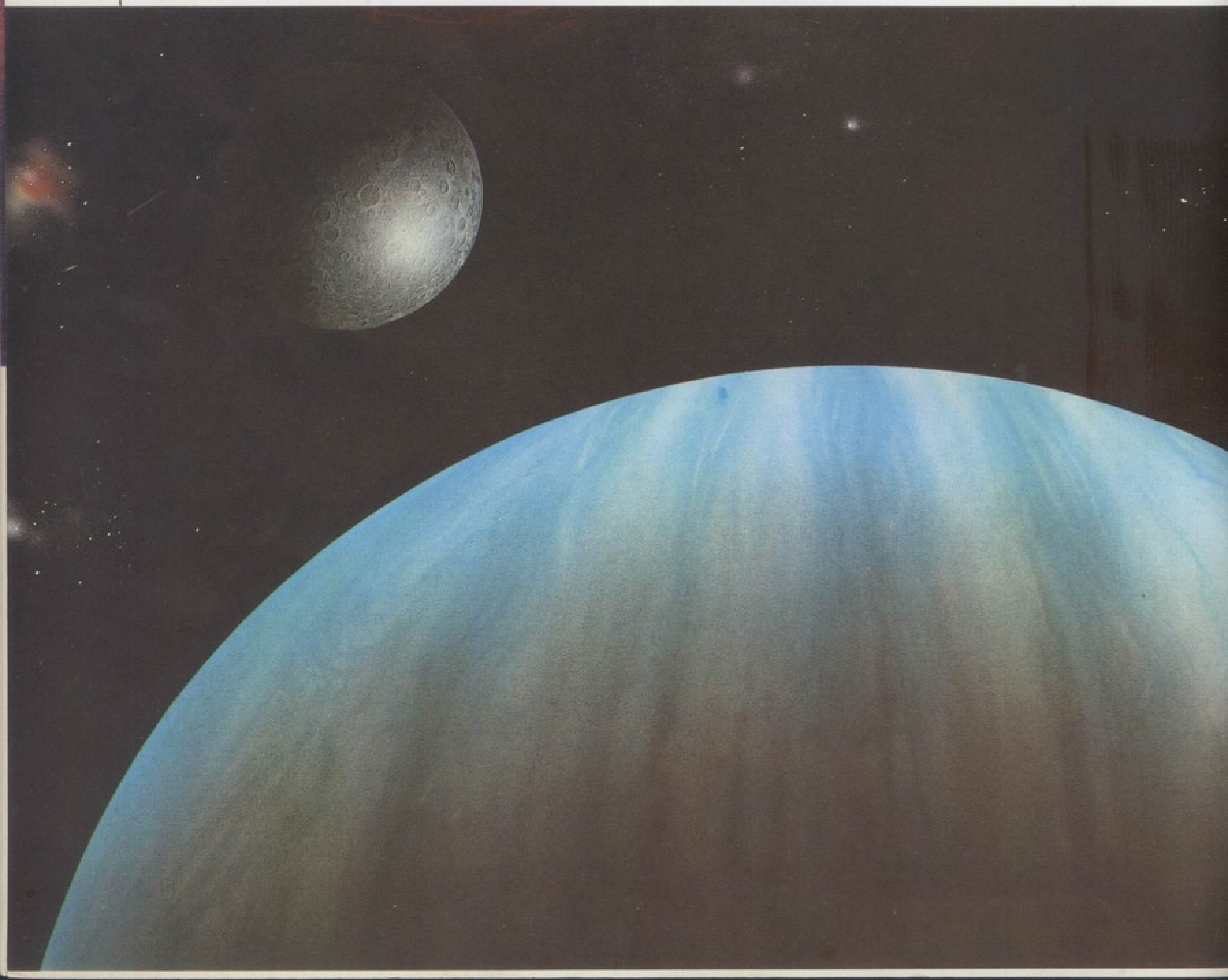
Neptuno

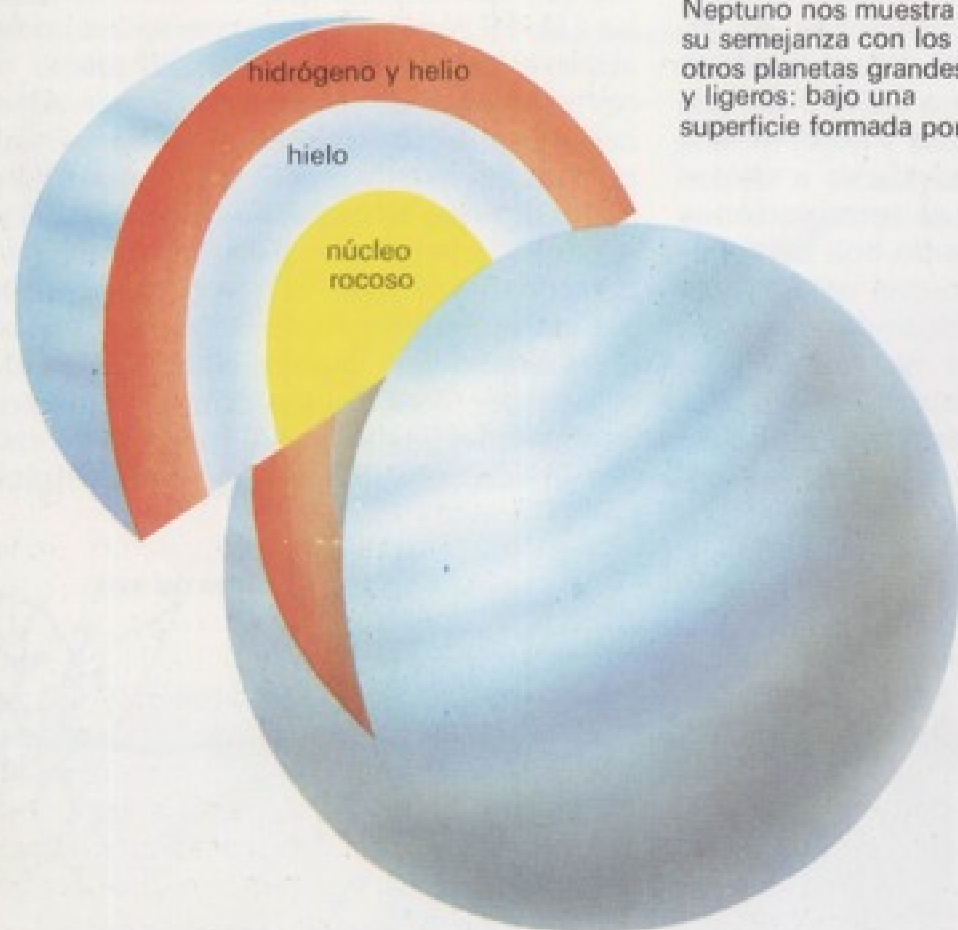
El modo en que se llevó a cabo el descubrimiento de Neptuno constituye un fascinante ejemplo de la correcta predicción científica: en efecto, durante una rutinaria observación en la que se trataba de estudiar ciertas irregularidades en el movimiento de Urano, los astrónomos repararon en que los cálculos hechos sobre dicho movimiento no estaban de acuerdo con las irrebatibles leyes de la gravitación celeste, y llegaron a la conclusión de que sólo la presencia de otro cuerpo celeste, un nuevo planeta más lejano que Urano, podría explicar satisfactoriamente estas anomalías. La comprobación de esta tesis estimuló las investigaciones del inglés John C. Adams y del francés V. J. J. Le Verrier, quienes en 1846 descubrieron la existencia de Neptuno, no mediante la ayuda del telescopio sino a través de los resultados de sus cálculos matemáticos.

Observando con detenimiento el fondo estelar de la zona donde, según los cálculos, era previsible que se encontrase el nuevo planeta y comparándolo posteriormente con el correspondiente en un mapa estelar, se descubrió la presencia de una estrella de cuya existencia el mapa no daba cuenta. Cuando poco después se volvió a controlar la posición del nuevo cuerpo celeste, se comprobó que éste se había desplazado de la posición anteriormente observada, y por lo tanto se le identificó como el nuevo planeta: Neptuno. Con el posterior descubrimiento de Plutón, en 1930, se completó prácticamente el conocimiento del Sistema Solar que hoy poseemos.

Naturaleza de Neptuno Neptuno está tan alejado de nosotros (4.500 millones de kilómetros desde el Sol), que ni aun con la ayuda de los grandes telescopios podríamos conseguir una información precisa de sus características. Es el octavo de los nueve planetas que forman el Sistema Solar y describe una órbita, o revolución elíptica en torno al Sol, casi circular, con una excentricidad de 0,0086 y una inclinación de 1° 47' con respecto al plano de la eclíptica. La trayectoria de su órbita está comprendida entre la de Urano y la de Plutón, y emplea en recorrerla un tiempo (o período de revolución sideral) estimado en 164,8 años. Es de séptima magnitud, no visible a simple vista.

Neptuno es un planeta muy grande: presenta una coloración azul verdosa y un diámetro aparente de 2",04, que, a la distancia correspondiente, equivale a un diámetro real de 44.000 km, es decir, casi cuatro veces el de la Tierra. El movimiento de sus lunas y las perturbaciones de Urano permiten determinar su masa, que equivale a 17 veces la de la Tierra. A causa de la gran distancia a que se encuentra y por estar totalmente cubierto de nubes, la composición de Neptuno sólo puede ser deducida a partir de algunas teorías, aunque se presume que sea análoga a la de los otros grandes planetas, como Júpiter, Urano y Saturno. Se supone que está constituido por un núcleo rocoso central, de un diámetro aproximado de 20.000 km, rodeado por un denso manto de hielo y envuelto por una atmósfera rica en gases, como metano, hidrógeno, helio y amoniaco. La temperatura en su superficie se estima que es de -205 °C. La presencia de metano en su atmósfera permite la absorción de la radiación solar únicamente en las





A la izquierda, el corte seccional de Neptuno nos muestra su semejanza con los otros planetas grandes y ligeros: bajo una superficie formada por fluidos y gases ligeros yace un estrato de gases en estado sólido que se denomina con el término genérico de *hielo*. Bajo esta capa se encuentra un núcleo sólido formado por roca y materiales pesados.
Abajo, entre las dos páginas, se ve la hipotética perspectiva de Neptuno y uno de sus satélites, Tritón; el Sol aparece como una estrella muy débil, escondida tras el perfil del planeta. También abajo, pero a la derecha, esquema del sistema de satélites: el más cercano a Neptuno es Tritón, que gira en órbita casi circular y en el sentido de las agujas del reloj; Nereida, en cambio, gira siguiendo una órbita elíptica de elevada excentricidad y cuyo sentido es contrario al que llamamos "horario".

bandas de frecuencia que corresponden al amarillo, al rojo y al naranja, lo que explica su coloración azul-verdosa.

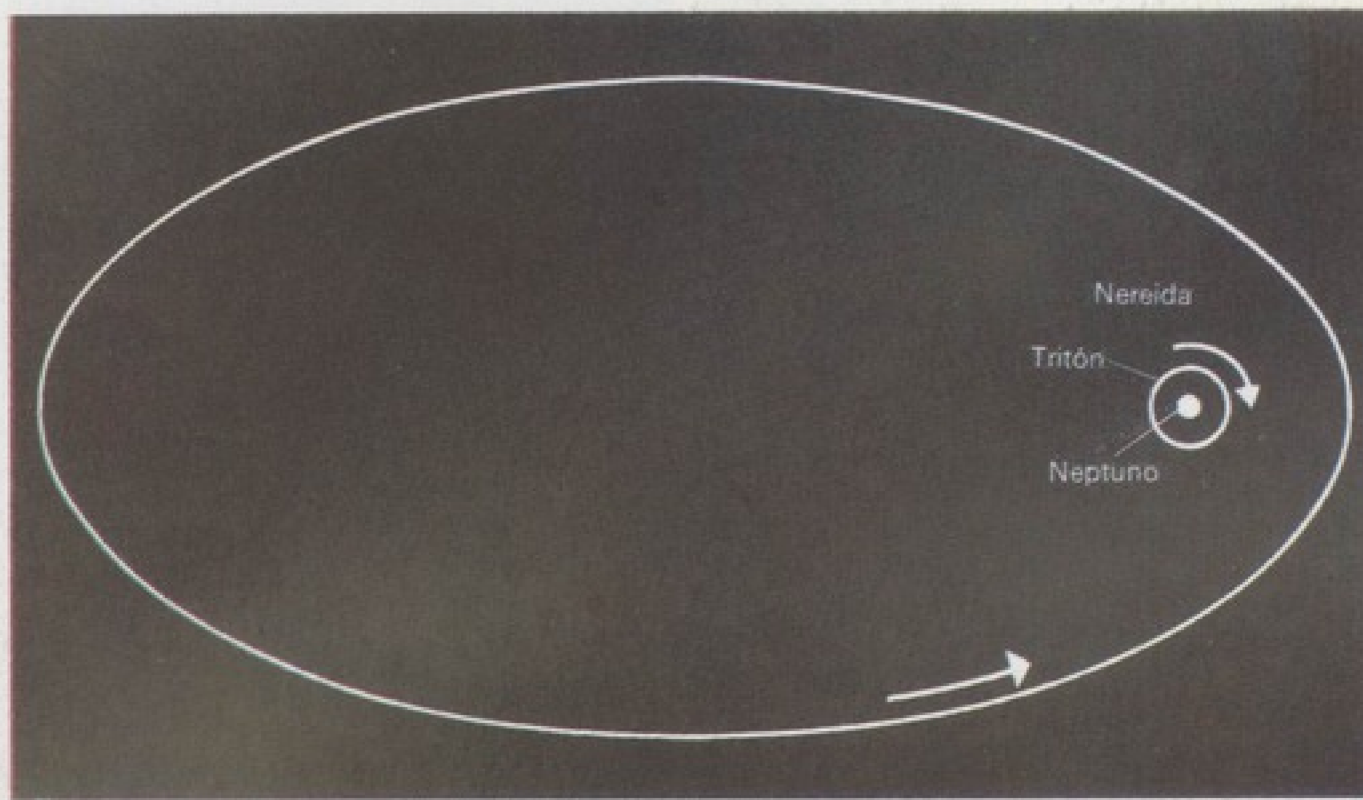
Como consecuencia de las dificultades que encierra la observación directa de Neptuno, ha sido difícil evaluar el tiempo que emplea en cumplir una rotación completa en torno a su eje. No obstante, en 1929 se estableció que tenía un rápido período de rotación, equivalente a 16 horas. Este cálculo fue posible gracias al empleo de métodos espectroscópicos, los mismos que permitieron confirmar su coloración. Estos métodos se basan en el desplazamiento de las líneas del espectro debido al efecto Doppler. El espectroscopio permite la descomposición de la radiación según las diferentes longitudes de onda que la componen: si éstas provienen de la parte de Neptuno que —debido a su rotación— se acerca a nosotros, sufrirán un corrimiento espectral hacia el azul; si, por el contrario, la radiación proviene de la parte de Neptuno que se aleja de nosotros, sus longitudes de onda sufrirán un corrimiento hacia el rojo. Midiendo la amplitud de los desplazamientos de las líneas espectrales, podemos fácilmente calcular la velocidad de rotación del planeta y, en consecuencia, el tiempo que emplea en efectuar un giro completo en torno a su eje.

Los satélites de Neptuno Muchos planetas tienen satélites o lunas que giran alrededor de ellos. Se conocen dos satélites de Neptuno: Tritón y Nereida. Tritón, el más grande, fue descubierto en 1846, poco después que Neptuno; tiene un movimiento notable, pues su órbita es *retrógrada*, es decir, gira alrededor de Neptuno moviéndose en sentido contrario de la rotación de Neptuno en torno a su eje. Con un diámetro de 3.700 km, la órbita de Tritón lo mantiene constantemente en las proximidades de Neptuno, de forma que tarde o temprano acabará precipitándose sobre éste, desintegrándose o bien formando un anillo a su alrededor con las partículas y el polvo resultantes de la colisión. Nereida, el más pequeño, es notable por la excentricidad de su órbita, superior a la de cualquier satélite conocido. Su distancia de Neptuno fluctúa entre 1.335.000 km y 9.800 km. Fue descubierto en 1949 y su diámetro es de casi 320 km. Su movimiento alrededor de Neptuno es, al contrario que el de Tritón, directo.

Los científicos opinan que el planeta más lejano del Sistema Solar es Plutón, y que éste, en tiempos pasados, fue satélite de Neptuno. Según esta teoría, Plutón consiguió en un momento determinado escapar de la atracción gravitatoria de Neptuno, instalándose en una órbita propia.

Se espera que las futuras misiones espaciales den un mayor conocimiento sobre la naturaleza de Neptuno.

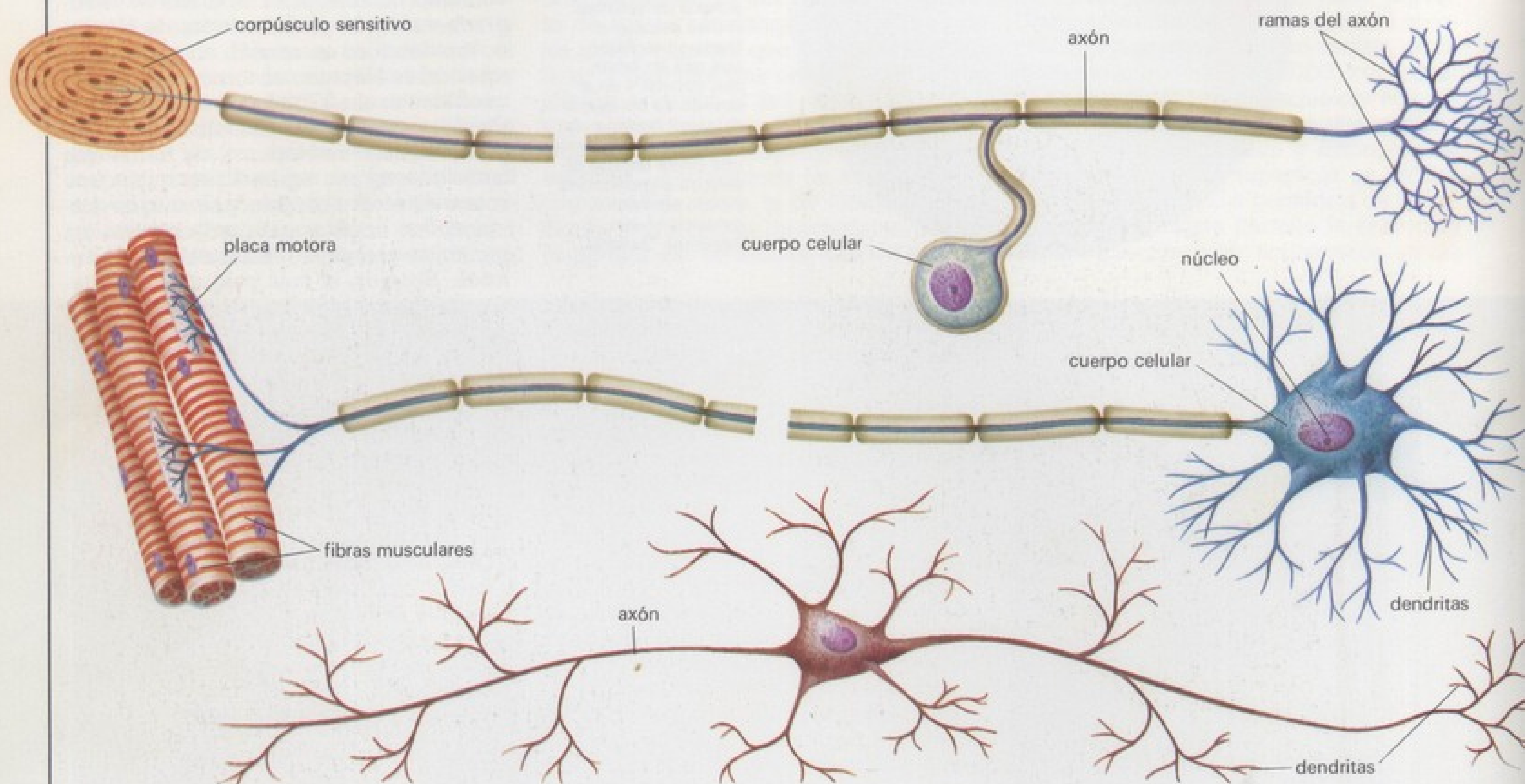
Véase **Asteroide; Astronomía; Astronomía para aficionados; Júpiter; Marte; Mercurio; Planetas; Plutón; Radioastronomía; Saturno; Sistema Solar; Tierra; Urano; Venus**



Nervio

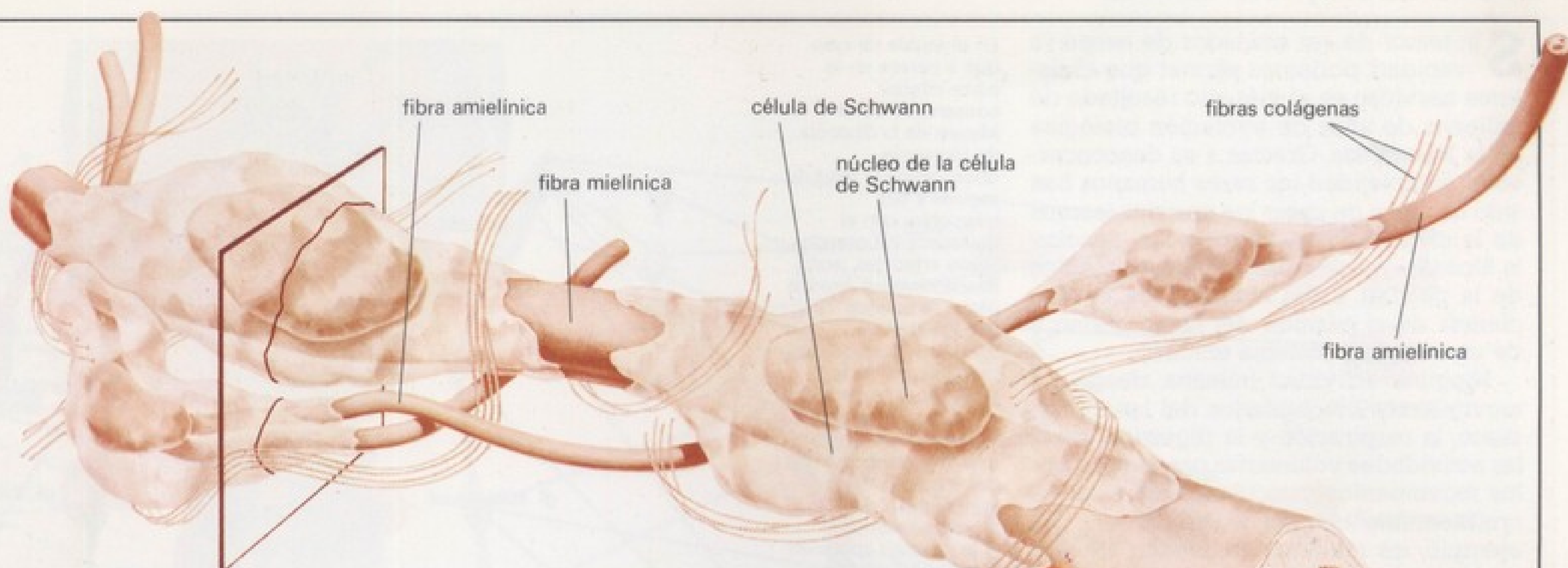
Para que un organismo complejo como el cuerpo humano funcione regularmente, es preciso disponer de un sistema de coordinación de las distintas funciones. Esto significa que algunos elementos, en esta armonía de millones y millones de células, deben organizar y controlar los demás elementos (células, tejidos, órganos, etc.) y asegurar el flujo regular de estímulos entre los distintos centros de los que dependen la vista, el oído, el tacto, el olfato, el aparato locomotor, etc. El cuerpo humano está controlado por una extensa red de células nerviosas, denominadas *neuronas*, que conducen los impulsos de todas las regiones del cuerpo al sistema nervioso central, y viceversa, mediante un sistema de transmisión de doble sentido que constituye uno de los logros más perfeccionados del proceso evolutivo.

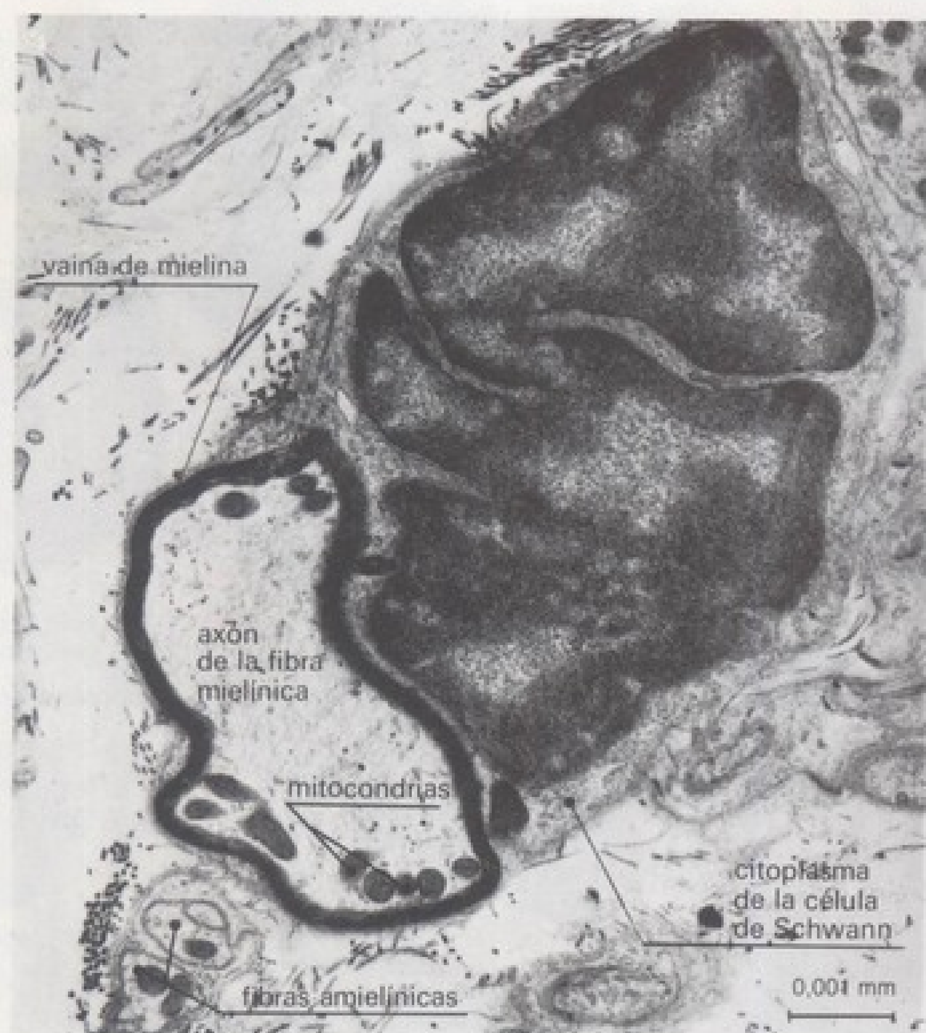
Neuronas A finales del siglo XIX Camilo Golgi, anatomista italiano, descubrió que cuando secciones muy delgadas de tejido cerebral son coloreadas con una mezcla de sustancias químicas que contienen sales de plata, por razones poco conocidas las únicas partes del tejido que toman coloración son las neuronas. Esto ha hecho posible la identificación y el estudio de estas células. Las neuronas poseen distintos tamaños y formas, pero, por lo general, están todas ellas compuestas por un cuerpo celular que se ramifica en numerosos apéndices más o menos cortos denominados *dendritas* ("pequeños dedos") y en una sola prolongación larga llamada *axón* (o *neurita*), que en algunos casos puede alcanzar un metro de longitud. A lo largo de su recorrido el axón puede emitir prolongaciones colaterales y presentar posteriores ramificaciones en su extremidad. La ilustración de una neurona recuerda la imagen de un árbol o de una planta de perejil, con ramas y hojas en una extremidad y raicillas similares a dedos en la otra extremidad. Las terminaciones del axón entran en contacto con otras células nerviosas o incluso con células distintas —como las fibras musculares— para transmitir los impulsos nerviosos. Este contacto recibe el nombre de *sinapsis*. Generalmente, el axón está recubierto de una vaina lipídica, constituida por una sustancia conocida con el nombre de *mielina*, que desempeña una acción muy similar a la del recubrimiento que rodea como aislante los cables de la luz. En efecto, el revestimiento de mielina sirve para aislar cada uno de los axones de otras células nerviosas: sin esta protección, los distintos estímulos que se conducen a través de los axones darían lugar a un "cortocircuito", de modo parecido a lo que ocurre con los cables eléctricos no aislados que entran en contacto. Los axones, sin embargo, no deben ser concebidos como elementos separados y aislados del tejido sensorial; por el contrario, los axones están organi-





Las neuronas motoras conducen el impulso nervioso desde el sistema nervioso central hasta los órganos efectores. El cuerpo celular recoge los impulsos procedentes de otras neuronas mediante las dendritas. El impulso final es transportado a través de un solo axón. A nivel muscular, el impulso es transmitido a las fibras musculares mediante la placa motora, donde tiene lugar la liberación de los mediadores químicos que aseguran la transmisión del impulso. Sobre estas líneas, los tres tipos de neuronas: sensoriales, motoras —que se originan en la médula espinal— y de la corteza cerebral. A la izquierda, nervio ciático al microscopio.







zados en haces denominados *nervios*. Una unidad elemental como el nervio óptico, que va desde el ojo hasta el cerebro, se calcula que está compuesta por cerca de 10 millones de axones.

Actividad eléctrica de los nervios Cada una de los miles de millones de neuronas presentes en nuestro cuerpo actúa como una especie de batería. La energía eléctrica desarrollada por esta pequeña batería se conoce como *potencial de acción* de la fibra nerviosa. Todas las partes del nervio, así como casi todas las células vivientes, poseen este tipo de potencial. El axón es capaz de transmitir impulsos eléctricos en ambas direcciones desde y hacia el cerebro. El recorrido normal del impulso parte de las dendritas (la cima del árbol), atraviesa el axón (el tronco) y alcanza la terminación axónica o telodendro (las raíces). En este momento se produce la sinapsis: la transmisión nerviosa no es aquí de tipo eléctrico, sino que tiene lugar por medio de los transmisores químicos, consistentes esencialmente en un conjunto de sustancias químicas que se depositan en la extremidad del axón.

Mediante la sinapsis, el impulso nervioso se transmite de las dendritas de una neurona a las de la siguiente y de este modo avanza hasta llegar desde el cerebro al músculo o a la glándula más lejana (en el caso de neuronas *motoras*, que son las implicadas en el movimiento) o bien desde los órganos receptores sensoriales (en el caso de neuronas *sensitivas*) al cerebro.

Hoy en día la actividad nerviosa se compara con la estructura de un ordenador, por su capacidad para elaborar informaciones increíblemente complejas y con gran rapidez. Tales comparaciones son muy útiles, pero hay un dato que no debe ser nunca olvidado: cada ser humano lleva en el interior de la cavidad craneal un cerebro compuesto por aproximadamente unos 10.000 millones de neuronas, conectadas entre sí y que colaboran con millares de otras, formando un ordenador "natural" cuya capacidad y complejidad son tan portentosas, que no ha sido nunca y probablemente jamás será igualado, ni siquiera de lejos, por ninguna inteligencia artificial.

Las técnicas de utilización del microscopio electrónico han permitido estudiar detalladamente la estructura de la célula nerviosa. El dibujo de la parte superior representa precisamente una reconstrucción de la fibra mielínica y de dos fibras amielínicas. Se observan las células de Schwann con su núcleo. Las dos microfotografías de esta página representan las secciones microscópicas correspondientes a los cortes indicados en el dibujo: se pueden distinguir la vaina de mielina, el axón de la fibra mielínica y el citoplasma de la célula de Schwann, mientras que a la derecha se aprecia una mitocondria y numerosos neurofilamentos.

Véase **Célula; Cerebro; Cuerpo humano; Nervioso, sistema**

Nervioso, sistema

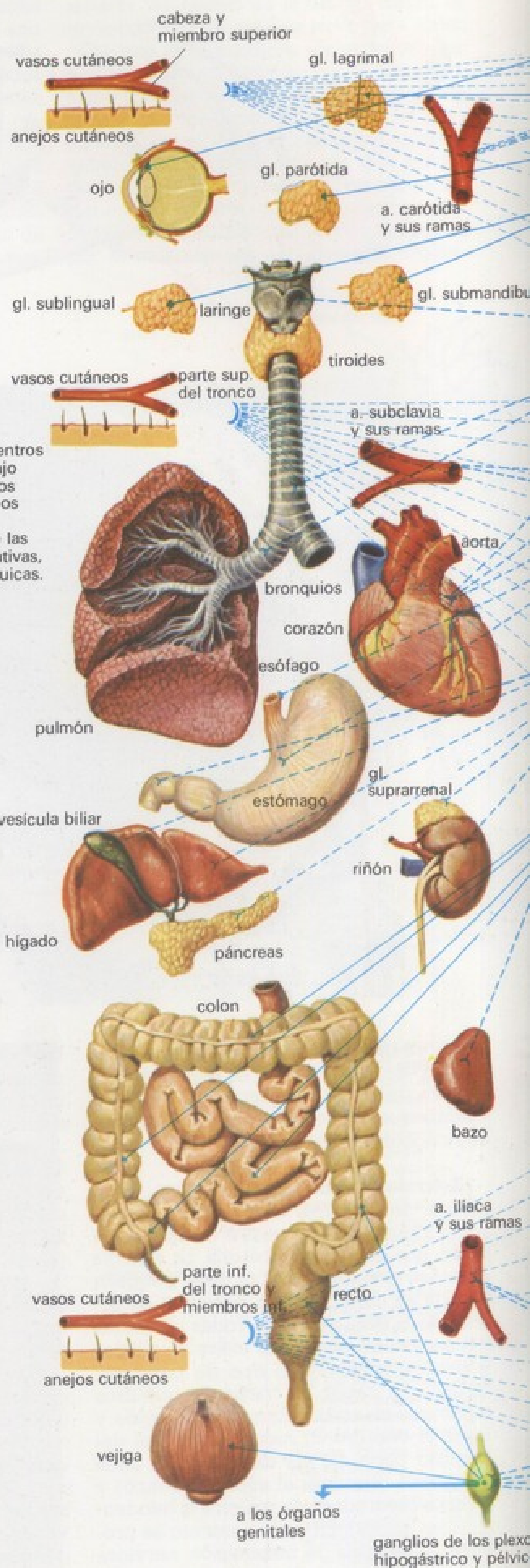
Sin temor de ser acusados de excesiva vanidad, podemos afirmar que el sistema nervioso es el más alto resultado de millones de años de evolución biológica en la Naturaleza. Gracias a su desconcertante complejidad los seres humanos han sido capaces de crear los grandes tesoros de la civilización —las artes, las ciencias, la filosofía— y de gozar de los privilegios de la palabra y del lenguaje, de la conciencia de sí mismos, del juicio crítico y de un complejo sistema emotivo.

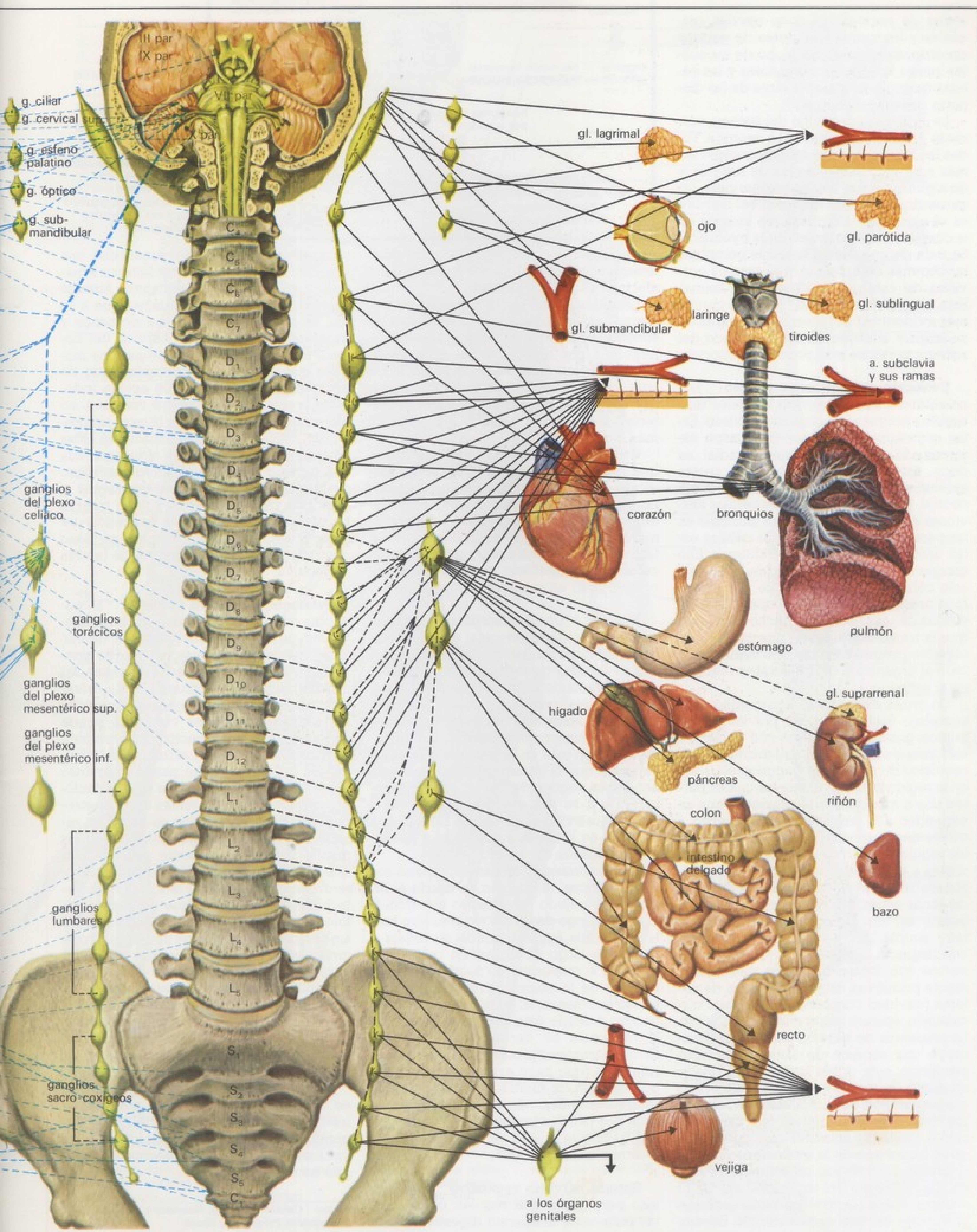
Ninguna actividad humana, desde los movimientos involuntarios del latido cardiaco, la respiración y la digestión, hasta las actividades voluntarias producidas por los movimientos musculares (a veces increíblemente complejos, como son, por ejemplo, los movimientos de los atletas), podría ser posible sin el funcionamiento adecuado del sistema nervioso.

Sistema nervioso central y sistemas periféricos El sistema nervioso está constituido por dos partes: el *sistema nervioso central* y el *sistema nervioso periférico.* El primero de ellos está formado esencialmente por el encéfalo y la médula espinal. El segundo está compuesto por dos

En el molde de cera que a parece en la parte inferior, conservado en el Museo de la Specola de Florencia, observamos la médula espinal y sus relaciones con el corazón y los grandes vasos arteriales, aorta descendente y arterias ilíaco-femorales. La médula espinal transmite los impulsos procedentes de la periferia al cerebro y a sus centros, como vía ascendente, y los impulsos procedentes del encéfalo hacia la periferia, como vía descendente. A la derecha aparecen las formaciones que constituyen el sistema nervioso vegetativo y los órganos viscerales por él inervados. El sistema nervioso vegetativo o autónomo es un conjunto de centros, fibras y ganglios nerviosos que regula las funciones de la vida vegetativa de un modo independiente de la voluntad. También estos centros se encuentran bajo control de algunos centros encefálicos que aseguran la integración entre las funciones vegetativas, somáticas y psíquicas.






III par
IX par
VII par
X par
g. ciliar
g. cervical sup.
g. esfeno palatino
g. óptico
g. sub-mandibular
C4
C5
C6
C7
D1
D2
D3
D4
D5
D6
D7
D8
D9
D10
D11
D12
L1
L2
L3
L4
L5
S1
S2
S3
S4
S5
C1
ganglios del plexo celíaco
ganglios torácicos
ganglios del plexo mesentérico sup.
ganglios del plexo mesentérico inf.
ganglios lumbares
ganglios sacro-coxígeos
gl. lagrimal
ojo
gl. parótida
gl. submandibular
laringe
gl. sublingual
tiroides
a. subclavia y sus ramas
corazón
bronquios
pulmón
estómago
gl. suprarrenal
hígado
páncreas
riñón
colon
intestino delgado
bazo
recto
vejiga
a los órganos genitales

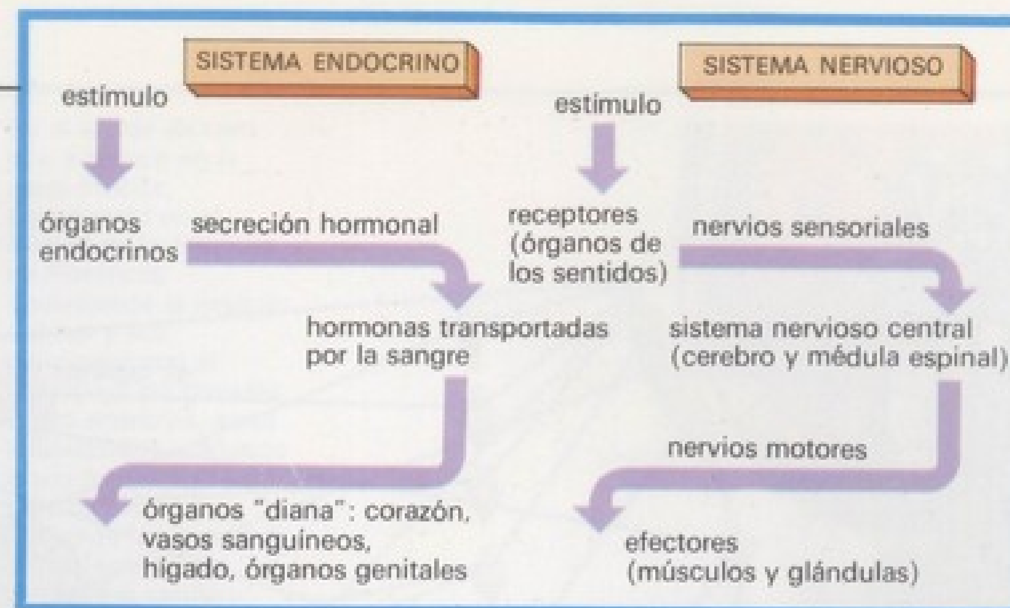
series de nervios: los doce nervios craneales y los treinta y un pares de nervios simétricos espinales, cada uno de los cuales inerva las células sensoriales y las células musculares o glandulares de las distintas partes del cuerpo.

La unidad fundamental del sistema nervioso es la célula nerviosa o *neurona*. Todas las formas de vida animal, excepto las más simples, están dotadas de nervios y de algunas formas de sistema nervioso organizado. El sistema nervioso del hombre es el elemento distintivo que lo sitúa en la cúspide de la pirámide de la evolución. Se trata de un sistema bastante complejo, mucho más complejo que el sistema nervioso de cualquier otra especie animal. Esta característica resulta todavía mucho más evidente si se recorren las etapas de su largo y lento desarrollo, partiendo del sistema nervioso más primitivo conocido.

Evolución del sistema nervioso Los celentéreos son las formas animales más simples provistas de sistema nervioso. Estos organismos presentan un cuerpo estructurado según una simetría radial, es decir, están constituidos por dos partes iguales que se sitúan alrededor de un eje central. Presentan una red de células nerviosas distribuidas de manera uniforme en las paredes del organismo; las células están unidas entre sí mediante sinapsis. Ello comporta que cualquier estímulo de una sola célula nerviosa no sigue una dirección precisa, sino que es transmitido a todas las células (proceso mucho más lento que la transmisión desde una célula a un objetivo predeterminado), de manera que todo el organismo del celentéreo reacciona al estímulo.

Un grupo de animales ligeramente más complejo está constituido por los platelmintos, gusanos aplanados con el cuerpo en forma de cinta. Estos organismos están provistos de un par de ganglios, situados en la región anterior, desde los cuales parten dos o más cordones nerviosos que se extienden a lo largo de todo el cuerpo, a través de neuronas distribuidas a intervalos regulares, y envían ramificaciones nerviosas a varios tejidos. Estos nervios periféricos reciben y responden a estímulos de zonas específicas del cuerpo, constituyendo así un sistema nervioso central muy simple. Aparte de esta innovación con respecto a los celentéreos, los platelmintos son formas animales extremadamente primitivas, estando privados de celoma (cavidad corporal), ano, aparato circulatorio, aparato respiratorio y esqueleto. La presencia de nervios periféricos constituye una especie de sistema nervioso periférico; esta doble ordenación, desde un punto de vista evolutivo, señala la primera aparición de la dualidad del sistema nervioso central/periférico que caracterizará a todos los animales más complejos en el transcurso de la evolución.

En los celentéreos, un estímulo provoca una respuesta del organismo entero. El *sistema doble* (central/periférico) ofrece la ventaja de que cada estímulo de una parte específica del organismo produce una respuesta en un nervio individual sin afectar a todo el organismo.



Las respuestas orgánicas de los sistemas de regulación del organismo, endocrino y nervioso, son diferentes: el sistema endocrino segrega las hormonas que circulan en la sangre, mientras que el sistema nervioso utiliza los nervios que conducen estímulos a los órganos efectores (músculos y glándulas).

Los platelmintos han sido una de las primeras formas de vida animal provistas de simetría bilateral; a diferencia de los celentéreos, con simetría radial, en el sentido del eje longitudinal, en la simetría bilateral la mitad del organismo es la imagen especular de la otra mitad. Esta característica es común a todos los animales más complejos.

En términos generales puede afirmarse que, desde los más simples "circuitos" nerviosos hasta los más complejos sistemas nerviosos, el desarrollo de las capacidades de los animales depende del incremento del número de neuronas en el sistema nervioso central, en particular en el cerebro, acompañado por una creciente complejidad en sus interacciones.

Reflejos Una extraordinaria característica de la médula espinal es su capacidad para controlar las acciones conocidas con el nombre de *reflejos*, incluso con independencia de la función cerebral. El reflejo es una respuesta automática que afecta casi siempre a una parte específica del organismo y no al cuerpo en su totalidad. Quien toca un objeto que quema no espera a que la sensación llegue al cerebro y sea registrada por el propio cerebro que a su vez envíe el mensaje a la mano para evitar el quemarse. En realidad, la mano es retirada antes de que la sensación alcance el cerebro.

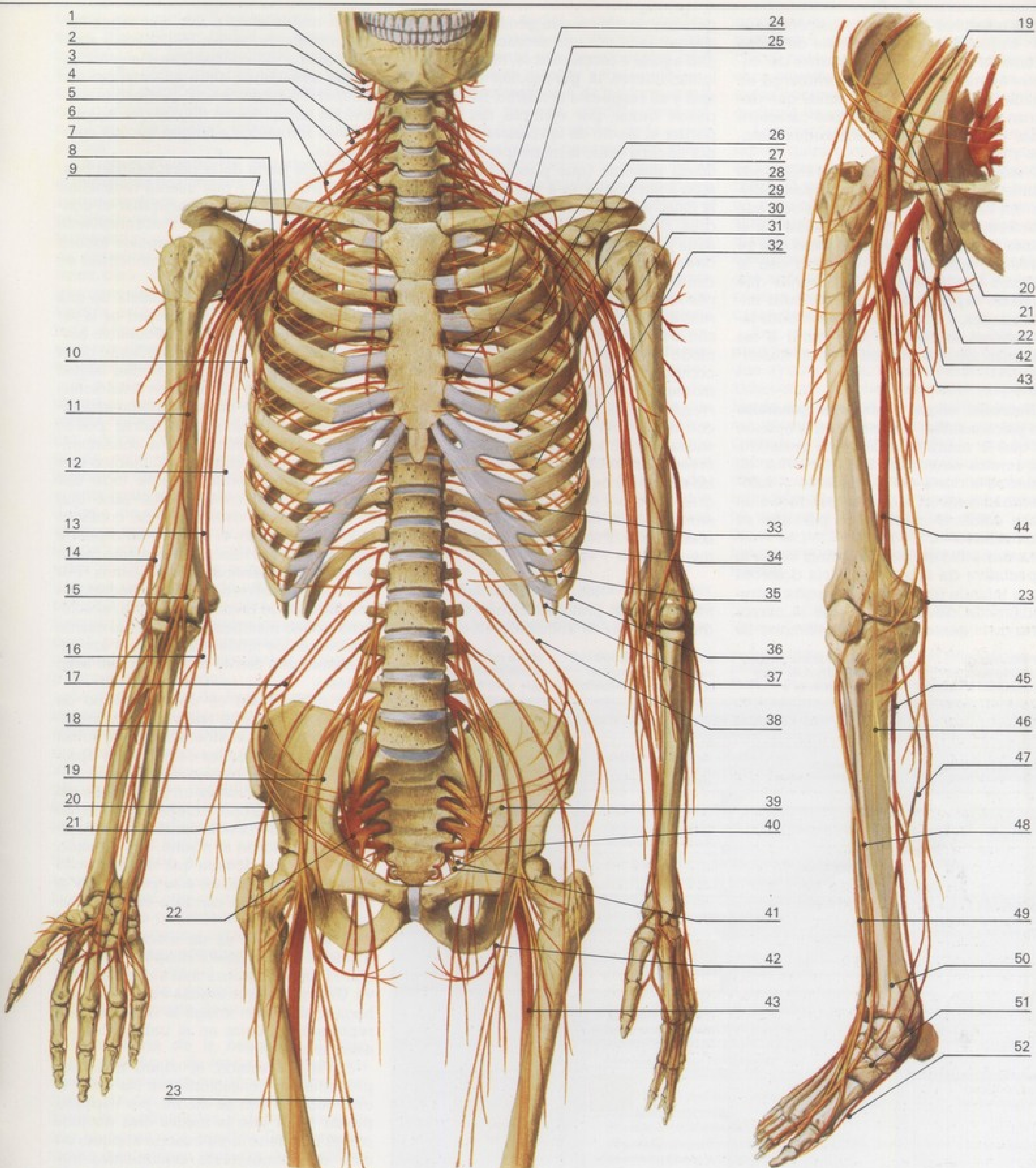
Los mecanismos de este fenómeno son los siguientes: el impulso va desde el órgano del sentido (en nuestro ejemplo, la piel) a lo largo de un nervio sensitivo hasta la médula espinal, donde se refleja y viaja a lo largo de un nervio motor que provoca la respuesta (en nuestro ejemplo, retirada de la mano). El recorrido desde el órgano sensorial al sistema nervioso central y desde éste al órgano efector de la respuesta se denomina *arco reflejo*. Otros ejemplos típicos de reflejos son el rotulismo (que hace extender la pierna al golpear con un martillo por debajo de la rótula), el reflejo de la estación erecta (que nos hace permanecer erguidos) y el que hace que el acto de caminar sea casi totalmente inconsciente.

Sistema nervioso vegetativo Los nervios periféricos que regulan el corazón, los pulmones, el aparato digestivo y muchas otras funciones del organismo han sido considerados como un sistema separado y subordinado, denominado *sistema nervioso autónomo* o *vegetativo*, que a su vez se subdivide en *sistema simpático* y *parasimpático*. Todos los nervios del sistema nervioso simpático son nervios motores que difieren considerablemente de los otros nervios, dado que actúan independientemente de nuestra voluntad: en efecto, podemos respirar y digerir sin pretender realizar de modo consciente estas funciones. Actualmente ha sido superada la hipótesis de un dispositivo autonómo del sistema nervioso central que regule la actividad de las vísceras, puesto que ya ha podido demostrarse la existencia de centros nerviosos en el sistema nervioso central encargados del control de la vida vegetativa.

Patología del sistema nervioso La patología del sistema nervioso es ciertamente una de las más complejas de definir, dado que su sintomatología puede confundirse con todas las manifestaciones del comportamiento y actitudes de la esfera psiquiátrica, si bien a veces la alteración de algunas funciones centrales puede conducir a una alteración propiamente psiquiátrica. Se puede afirmar, por lo tanto, que la patología del sistema nervioso sigue dos grandes tipos de manifestaciones que definen otras tantas aproximaciones metodológicas y que se basan en resultados clínicos distintos: por un lado, las manifestaciones puramente neurológicas, que definen la patología más propiamente orgánica, y, por otro lado, las manifestaciones psicológicas, que definen la patología más propiamente psíquica. En el ámbito de la patología de tipo orgánico se incluyen todas aquellas formas de alteraciones de la conducción nerviosa y de la sensibilidad, comprendiendo también las enfermedades que afectan a los órganos de los sentidos, que están tan estrechamente ligadas —a través de la percepción y la relación con el mundo externo— a las manifestaciones psíquicas del individuo.

Otro tipo de manifestación patológica es la cerebral, cuyas causas pueden ser infecciosas, genéticas, metabólicas o degenerativas, como sucede en los distintos tipos de demencia, con frecuencia de origen oscuro.

Véase **Cerebro; Nervio; Neurosis y psicosis; Percepción; Psiquiatría; Shock**



El esquema de esta página ilustra de modo exhaustivo el sistema nervioso periférico, excluyendo únicamente los nervios craneales. Así, vemos, siguiendo el orden: 1, mastoideo, cutáneo; 2, gran auricular, cutáneo; 3, cutáneo del cuello; 4, supraclaviculares, cutáneos; 5, frénico, mixto; 6, dorsal de la escápula, muscular; 7, supraescapular, muscular; 8, torácico largo, muscular; 9, circunflejo o axilar, mixto; 10, toraco-dorsal, muscular; 11, músculo-cutáneo, mixto; 12, cutáneo, medial del brazo; 13, cutáneo medial del antebrazo; 14, radial, mixto; 15, mediano, mixto; 16, cubital, mixto; 17, iliohipogástrico, mixto; 18, ilioinguinal, mixto; 19, genitofemoral, mixto; 20, femorocutáneo, cutáneo; 21, femoral, mixto, termina en el safeno (23), cutáneo; 22, obturador, mixto; 24-38, intercostales, mixtos; cada uno da lugar a una rama perforante lateral (32) y a una rama perforante anterior (26); el 2.º y el 3.º dan lugar a la anastomosis intercostobraquial (27); 39, glúteo superior, muscular; 40, pudendo, mixto; 41, ramas para el plexo pélvico, viscerales; 42, cutáneo posterior del muslo; 43, ciático isquiático, mixto; 45, tibial, mixto; y mamas plantares, medial (52) y lateral (51), mixtas, de este último; 48, rama profunda, mixta, del peroneo común (44), mixta; 49, rama superficial, mixta, del peroneo común; 47, cutáneo medial de la pierna que, después de su anastomosis con el cutáneo lateral de la pierna (46), toma el nombre de *sural* (50).

Neurosis y psicosis

Los adjetivos *neurótico* y *psicótico* son empleados con frecuencia de forma incorrecta para calificar personas de carácter extraño o nervioso. Sin embargo, en realidad se trata de dos términos que designan enfermedades mentales caracterizadas por presentar determinados síntomas y causas.

Neusoris y *psicosis* constituyen los dos grandes grupos de trastornos psiquiátricos cuyos rasgos fundamentales son que el enfermo es incapaz de ayudarse por sí mismo y, en el caso de la psicosis, que se siente privado de todo contacto con la realidad. Son numerosas las teorías que tratan de explicar las causas de estas enfermedades, y otros tantos los métodos terapéuticos empleados para curar a las personas afectas por los citados trastornos.

Neurosis: origen y síntomas generales Los psicoanalistas coinciden en la opinión de que la neurosis nace de la ansiedad. Los sujetos neuróticos intentan evitar tal ansiedad a costa de un esfuerzo y sufrimiento excesivos, lo que les conduce a un fuerte conflicto interno que perturba su personalidad.

La *ansiedad* se puede definir como la expectativa de una experiencia dolorosa y que infunde temor, una sensación extremadamente desagradable que la mayor parte de la gente no consigue eliminar. La persona neurótica, que generalmente está atormentada por una sensación de ansiedad aguda e incontrolable, modifica involuntariamente la percepción del mundo real y su respuesta al mismo. La ansiedad puede brotar, por ejemplo, del miedo a perder el afecto de los padres provocado por hechos como la interrupción de la lactancia materna (que puede inducir a un niño a sentir que va a ser abandonado) o la muerte prematura de alguno de los padres. En ambos casos, la ansiedad provocada por estas experiencias no está unida directamente a ellas; al contrario, se encuentra oculta y encubierta por reacciones de defensa que esconden la causa real, sustituyéndola por cualquier otra razón, o bien ignorándola y creando de este modo un estado de angustia constante. El comportamiento neurótico aparece en el momento en que estas defensas se derrumban. Los pacientes neuróticos son con frecuencia inconscientes tanto de la causa real de su ansiedad como de haber creado las defensas contra ella. Dado que los mecanismos de defensa requieren una gran cantidad de tiempo y de energía y determinan el nacimiento de nuevos problemas, el individuo neurótico es generalmente infeliz y apático.

Defensas Muchos psicoanalistas sostienen que el principal campo de batalla de la neurosis se encuentra en el inconsciente, donde el *Id*, o *Ello*, que sigue fundamentalmente deseos instintivos y agresivos buscando constantemente gratificaciones inmediatas, entra en conflicto con el *super-Yo*, o conciencia, que inclina al individuo hacia ideales rígidos que no pueden ser sometidos a ningún tipo de compromiso.

El *Yo*, la parte de la personalidad ligada a la realidad y que intenta reconciliar a las otras dos, trata de aniquilar el conflicto poniendo en marcha mecanismos de defensa que actúan de diferentes modos y que son perfectamente reconocibles en las acciones cotidianas.

Un posible modo de respuesta de una persona neurótica a la ansiedad es la *represión de su origen*, con frecuencia hasta el punto de no ser ya consciente de la misma (por ejemplo, la ansiedad sexual que puede surgir durante conversaciones alusivas). De este modo, el sujeto estimulado por determinadas palabras puede atribuir su sensación a algo absolutamente insignificante, como los alimentos que detesta, manteniendo durante todo ese tiempo la convicción de estar sano, que es su manera de defenderse del conflicto.

En la *regresión*, el sujeto adulto puede reaccionar a sus temores del mismo modo en que reaccionaba en la infancia. Por ejemplo, resolviendo los desacuerdos conyugales de manera explosiva, el sujeto neurótico manifiesta su rabia del mismo modo que los niños reaccionan a los enfrentamientos con el progenitor del sexo opuesto.

La *sublimación* es un mecanismo de defensa que puede tener efectos socialmente positivos: el sujeto descarga su ansiedad en actividades socialmente aprobadas (deportes, trabajo, etcétera).

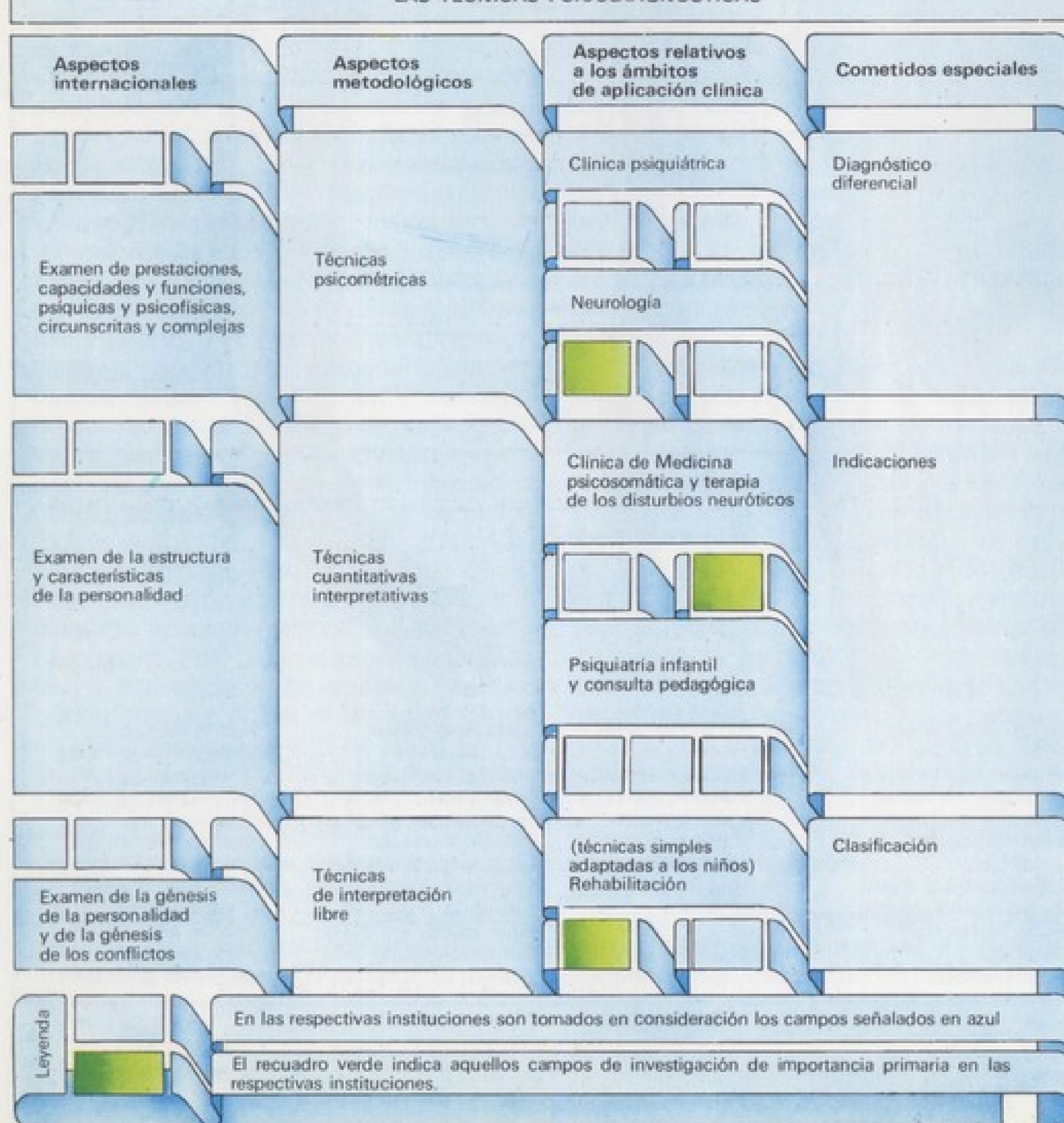
La *racionalización* es un proceso de explicación del propio comportamiento, de manera que se intenta justificar y conservar el respeto de sí mismo. Por ejemplo, la persona que declara que la petición de un aumento de sueldo a su propio jefe le causaría un ataque cardiaco está racionalizando.

El *alejamiento* es un mecanismo mediante el cual el sujeto desplaza el temor o la rabia de la causa real a otra sustitutiva. Cualquiera que alguna vez haya desahogado sobre un amigo la rabia por una reprobación súbita en el trabajo conoce este mecanismo.

En la *proyección*, el sujeto neurótico proyecta sus sensaciones en los otros: si está enojado con su madre, por ejemplo, puede decir que la madre está enojada con él. Ello tiene lugar cuando el sujeto recibe del inconsciente sentimientos inaceptables (tales como, por ejemplo, el odio ante los conflictos que plantea un recién nacido), y reacciona a ellos admitiéndolos conscientemente en su forma opuesta (en el ejemplo, llegando a ser hiperprotector y extraordinariamente afectuoso con el niño).

Comportamiento neurótico Desafortunadamente, los mecanismos de defensa

Las técnicas psicodiagnósticas utilizadas en el campo de la Medicina poseen un insustituible valor para confirmar y ampliar un diagnóstico inicial. El *test* mental constituye un método, ahora estandarizado, relativamente sencillo que sirve de estímulo.



no son inatacables. Precisamente cuando estos mecanismos ceden es cuando se manifiesta el comportamiento neurótico. Ello puede comportar, por ejemplo, una incapacidad patológica para expresar la ira, que posteriormente se manifiesta en momentos y situaciones totalmente inapropiados.

Un ataque agudo de ansiedad puede manifestarse con síntomas parecidos a un ataque cardiaco, con sudoración profusa y palpitaciones. En un particular tipo de enfermedad neurótica, denominado *reacción de conversión*, el sujeto manifiesta la defensa bajo la forma de síntomas físicos. Una conocida manera de reacción de conversión está clínicamente ligada a la histeria. Algunas formas de impotencia sexual, por ejemplo, están consideradas histerismos derivados de la ansiedad sexual.

El sujeto afecto por neurosis coactiva-obsesiva piensa repetidamente en una misma cosa, o repite continuamente idéntica acción. De este modo, una persona puede estar obsesionada por el pensamiento de que sus orejas están sucias; otra cuenta hasta diez cada vez que pasa por delante de una oficina de correos; otra controla repetidamente si las puertas están cerradas o si los grifos gotean. Todas estas situaciones son conductas obsesivas; una persona puede estar afecta tanto por una neurosis obsesiva (perseguida siempre por pensamientos incontrolables) como por una neurosis coactiva (que la obligue a realizar movimientos repetidos y carentes de sentido).

La mayor parte de las personas se ha encontrado en algún momento en una de esas condiciones, pero cuando llegan a ser parte integrante de la vida y conllevan un gran gasto de tiempo y de energía, entonces se consideran como comportamientos neuróticos provocados por una ansiedad oculta en el inconsciente.

La neurosis fóbica se presenta frecuentemente cuando el sujeto ha apartado la ansiedad de su causa verdadera, proyectándola sobre otra causa. La gente puede darse cuenta perfectamente de que el temor a los espacios cerrados (claustrofobia) o a los espacios abiertos (agorafobia) es irracional, pero sin un tratamiento adecuado no serán capaces de identificar la causa inconsciente de este temor.

Tratamiento de la neurosis Existen numerosos tipos de terapia mediante las cuales el paciente neurótico puede descubrir las causas reales de su ansiedad, aprender a afrontarlas, y darse cuenta de que ya no es algo temible. Diferentes terapias que utilizan técnicas de modificación de la conducta pueden poner al paciente en condiciones de interrumpir el comportamiento neurótico asumiendo otros nuevos y más saludables.

Psicosis En contraste con la neurosis, la psicosis se caracteriza por la falta de contacto con la realidad, de manera que el sujeto psicótico ve alteradas profundamente las relaciones interpersonales y su funcionamiento social. Si bien el psicópata puede ser capaz de conversar y razonar normalmente, sus presupuestos básicos se muestran irreales o inadmisibles.

La esquizofrenia, una de las formas más comunes de psicosis, consiste esencialmente en un trastorno global de la personalidad, que afecta al pensamiento, al lenguaje, a la afectividad y a la conducta en general. En la esquizofrenia catatónica predominan los síntomas psicomotores: el enfermo está totalmente aislado del mundo, no habla ni reacciona a los estímulos y puede permanecer largos períodos (semanas, meses o incluso años) en posición estatuaria. En la esquizofrenia paranoide, la más frecuente, el sujeto está totalmente a merced de su ansiedad, privado de control y contactos, abrigando a menudo manías de persecución o de grandeza (creerse, por ejemplo, que es Napoleón). En las formas maniacas, el sujeto manifiesta una agitación extrema, una energía inagotable, y una sensación de gran potencia: todo ello excesivo y desproporcionado con respecto a la situación. En la psicosis depresiva el sujeto se siente profundamente triste, inútil y privado de sentido; también en este caso la sensación es excesiva y desproporcionada.

Teorías y terapias Algunas psicosis pueden estar causadas por el abuso del alcohol y de estupefacientes, o por la aparición de tumores cerebrales. Las no imputables a causas físicas son conocidas como *psicosis funcionales*, aunque muchos científicos mantienen que están causadas por un desequilibrio químico del organismo de carácter hereditario.

Los psicópatas han sido sometidos a terapias quirúrgicas (lobotomías frontales) en las que es extirpada una parte del cerebro. El paciente llega a estar más sereno, pero con frecuencia totalmente pasivo. Otro tratamiento es el electrochoque, mediante el cual se transmiten descargas eléctricas al paciente a través de electrodos aplicados sobre la cabeza. Esta terapéutica se ha mostrado eficaz en algunos casos de depresión.

Los tratamientos médicos, si bien no modifican el origen de la ansiedad, pueden ayudar al paciente a desarrollar una vida normal. No obstante, existen esperanzas de que algún día se descubran las causas químicas de las psicosis y, en consecuencia, estas enfermedades —que hasta ahora sólo pueden ser controladas— puedan ser curadas. En cualquier caso, la eliminación de la sintomatología más grave ha mejorado netamente las condiciones de estos pacientes, que en la mayoría de los casos pueden desarrollar una vida casi normal.

Véase **Cerebro; Psiquiatría**

Es un mérito del psicoanálisis el haber esclarecido el valor de la ansiedad como elemento capaz de desencadenar perturbaciones a nivel psicológico y hasta físico, cuyos síntomas —que tienen un valor simbólico— permiten llegar a la causa.

NEUROSIS DE ANSIEDAD Y SUS MANIFESTACIONES CLINICAS

A	**Manifestaciones psicomotoras**
1	inquietud;
2	tensión física: los reflejos tendinosos pueden estar acentuados;
3	temblores (desde los más sutiles hasta los más evidentes);
4	reacciones de alarma;
5	interferencia con la coordinación de los actos y de los movimientos;
6	algunos cambios en el comportamiento y trastornos del sueño.
B	**Manifestaciones mentales**
1	debilitamiento de la atención;
2	escaso poder de concentración;
3	trastornos generales en la eficacia de la función mental;
4	cambios de actividades, de perspectivas y de planes para el futuro;
5	trastornos en la capacidad de juicio.
C	**Manifestaciones fisiológicas**
1	palpitaciones, opresiones y dolor precordial;
2	sudoración aumentada;
3	debilidad y fatigabilidad fácil;
4	alteraciones vasomotoras como manos y pies fríos, enrojecimiento o palidez súbitos;
5	disnea, opresión o dolor en el tórax;
6	cefaleas, trastornos visuales, zumbidos en los oídos;
7	algunos trastornos en la función sexual;
8	alteraciones funcionales en otros sistemas y de naturaleza más limitada y temporal: son igualmente afectados los sistemas digestivo, genito-urinario, reproductor, endocrino, cardiovascular o neuromuscular. (Si estas alteraciones llegan a ser "fijas" o estabilizadas de manera más crónica, son entonces consideradas como "conversión histérica".)
D	**Manifestaciones emocionales**
1	irritabilidad;
2	cambios en el modo de comportarse; depresión, humor negro;
3	empeoramiento de las relaciones con los amigos y la familia;
4	empeoramiento de la capacidad de amar, de sentir afecto e interés sexual.

Neutrino

Escondido en el interior del átomo había un "ladrón" de energía. Esta fue la conclusión a la que llegó en 1931 el físico Wolfgang Pauli. Sin embargo, Pauli no tenía muchas pruebas para su "acusación": el único argumento que fue capaz de aducir consistía en decir que de no ser así, una ley física sería violada. Normalmente, una cuestión semejante no habría sido considerada en serio y la validez de la ley científica habría sido puesta en tela de juicio. Pero esta ley particular era una de las más importantes que ha tenido la ciencia: la ley de la conservación de la energía.

El principio de la conservación de la energía Algunas leyes físicas son tan básicas y están tan sólidamente establecidas que someterlas a discusión supone cuestionar toda la ciencia. Los científicos no se inclinan a abandonar fácilmente estas leyes, intentando encontrar explicaciones alternativas.

Una de estas leyes fundamentales es la de la conservación de la energía, principio según el cual la energía no se crea ni se destruye, sino que únicamente cambia de una forma a otra.

A comienzos de este siglo, cuando los científicos empezaron a estudiar el mundo que se revelaba en el interior del átomo, se pensó que la ley de la conservación de la masa-energía era aplicable en todos los casos. Esta ley, por ejemplo, era cierta para algunos tipos de radiactividad. Un átomo radiactivo tiene un núcleo inestable que se transforma en núcleo estable emitiendo uno o varios tipos de partículas. En la radiactividad alfa, por ejemplo, es expulsada por el núcleo una partícula alfa, que consiste en dos protones (partículas cargadas positivamente) y dos neutrones (partículas carentes de carga eléctrica). La masa perdida por el núcleo no es igual a la de la partícula alfa expulsada, pero la energía que falta aparece en forma de energía de movimiento de la partícula alfa.

Parecía, aunque con una excepción, que la ley de conservación de la masa-energía era válida también en el interior del átomo. El caso excepcional apareció en correspondencia con la radiactividad beta. En este tipo de radiactividad, el núcleo emite un electrón y al mismo tiempo un neutrón del núcleo se transforma en un protón. Pero cada vez que esto ocurría se manifestaba también una pérdida de energía. En algunos casos tomados en consideración por los científicos, los electrones casi no poseen energía, aunque, de acuerdo con la ley de conservación, deberían tener una cantidad de la misma significativa y determinada.

La partícula "fantasma" de Pauli Frente a este enigma, algunos prestigiosos científicos consideraron la posibilidad de abandonar la ley de conservación de la masa-energía (en el caso de fenómenos en el interior del átomo). Pero Pauli no estaba de acuerdo con ellos y planteó la hipótesis de que cuando un neutrón se descompone en un protón y en un electrón, en el interior del núcleo debía formarse otra partícula aún no descubierta. Esta partícula, que se lleva una parte de la energía de la reacción, debía de carecer de carga eléctrica, tener una masa muy pequeña e interaccionar en un grado muy pequeño con la materia.

A muchos les pareció que plantear la existencia de una partícula "fantasma", no observada y prácticamente no observable, únicamente para cuadrar las cuentas del balance energético era una forma poco ortodoxa. A pesar de ello, las ideas de Pauli fueron aceptadas por el físico italiano Enrico Fermi, que llamó *neutrino* (pequeña partícula neutra) a la partícula "fantasma". (El neutrino no es comparable con el mucho más pesado neutrón, descubierto y bautizado precisamente en aquellos años.)

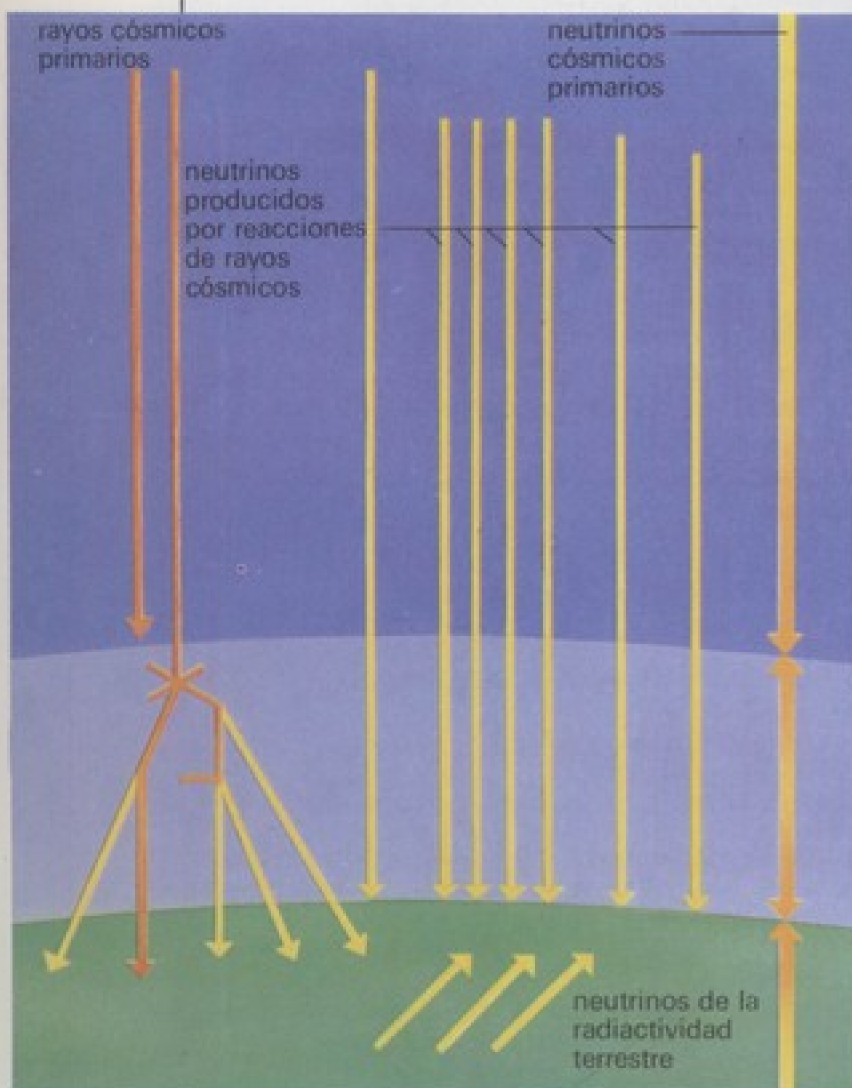
En 1953 dos científicos americanos comenzaron a buscar neutrinos. Utilizando un reactor nuclear como intensa fuente de neutrinos, buscaban un tipo de interacciones del neutrino que era en cierto modo la reacción inversa a la que se tiene en la radiactividad beta. El neutrino —en realidad era un antineutrino— habría debido ser capturado por un protón y originado un neutrón y un positrón (un electrón con carga positiva). El positrón sería revelado observando los característicos rayos gamma contrapuestos emitidos en su aniquilación con un electrón (ejemplo dramático de transformación de masa en energía). Diez millonésimas de segundo más tarde el neutrón habría sido capturado por un núcleo de cadmio y dado lugar a un segundo *flash* de rayos gamma. En 1956, como conclusión de una delicada experiencia, el inalcanzable neutrino fue inequívocamente identificado a través de su característica firma, mediante contadores de centelleo. Debido al escaso número de acontecimientos de este tipo, aproximadamente tres por hora, quedó claro que el neutrino interacciona muy débilmente con la materia.

Actualmente, intensos haces de neutrinos producidos por aceleradores de partículas son utilizados para estudiar la naturaleza de los constituyentes básicos de la materia y la interacción electrodébil. Llegará el día en que podrán ser enviados a través de la Tierra haces de neutrinos para descubrir materiales preciosos (procedimiento que podría ser llamado *prospección neutrínica*).

Los neutrinos y el Universo Los neutrinos pueden pasar a través de la materia mejor que cualquier otra partícula conocida. Son absolutamente inofensivos y pueden atravesar grandes cantidades de materia sin que éstas perciban influencia alguna. Para absorber la mitad de los neutrinos de un haz se necesitan al menos 800 millones de kilómetros de plomo.

Los neutrinos son producidos en distintas reacciones nucleares y en reacciones que se originan en todas las estrellas, incluido nuestro Sol. Viajan a la velocidad de la luz y no tienen masa medible. Su descubrimiento salvó no una, sino dos leyes de conservación. Los neutrinos, como las demás partículas, poseen una propiedad llamada *spin*, que podría compararse con el movimiento de rotación de la Tierra sobre su eje. Los científicos consideran que el *spin*, como la energía, debe ser conservado. El descubrimiento del neutrino, que ha confirmado la conservación del *spin* en algunas reacciones, ha reforzado la validez de esta ley. Los neutrinos tienen también otras propiedades características. En primer lugar, existen distintos "sabores" de neutrinos, y esto hace pensar que un neutrino puede cambiar de "sabor" mientras se mueve a lo largo de su trayectoria. Un científico ha subrayado la extrañeza de esta propiedad, comparándola con un perro que se vuelve gato para después volver a ser perro. Se están realizando experimentos para verificar si estas particulares oscilaciones se producen realmente. Los neutrinos tienen también una extraña propiedad llamada *elicidad*. Un guante para la mano derecha puede convertirse en un guante para la mano izquierda simplemente dándole la vuelta. Puede decirse entonces que hay guantes derechos e izquierdos. La propiedad equivalente de las partículas recibe el nombre de *elicidad*. Muchas partículas, como el neutrino, tienen elicidad definida, según que su *spin* sea de rotación izquierda o derecha respecto a la dirección de su tra-

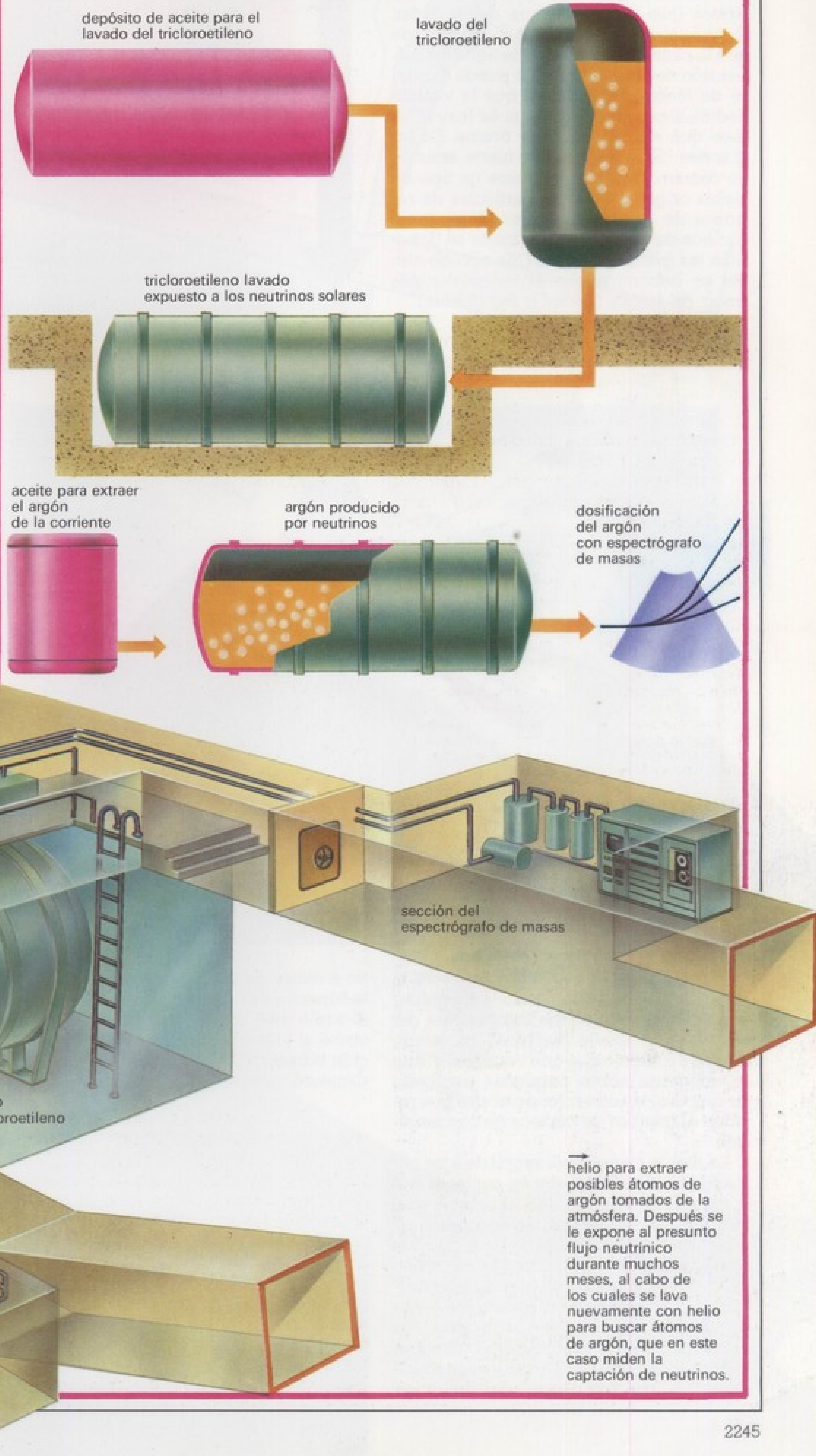
En el esquema de abajo se muestran las tres clases naturales de neutrinos. A la izquierda, los rayos cósmicos primarios, que no contienen neutrinos pero los producen con las reacciones nucleares provocadas en los núcleos de los átomos de la atmósfera. A la derecha, los neutrinos contenidos en los rayos cósmicos primarios. Abajo, los neutrinos producidos por la radiactividad terrestre.



yectoria. Para la mayor parte de las partículas, la elicidad depende del sistema de referencia desde el que se las observa. Los neutrinos son únicos, ya que tienen el mismo tipo de rotación —a la izquierda— en cualquier sistema de referencia.

El descubrimiento de los neutrinos ha constituido una ayuda en la comprensión del origen del Universo (a través de la explicación de la forma en que se han creado protones y neutrones), y su masa puede ser también la clave para comprender cuál será su fin. Algunas teorías consideran que el Universo se encuentra en continua expansión. Sin embargo, el número de neutrinos del Universo es tan grande que si cada uno de ellos tuviera masa, aunque infinitesimal, esta masa debería ser suficiente para impedir una expansión continua, produciendo por fin un colapso.

Véase **Atomo; Cosmología**



Si el calor solar es producido por reacciones nucleares de fusión, el Sol debe ser la fuente de neutrinos más intensa en las proximidades de la Tierra. Si se puede medir el flujo de neutrinos, se puede también medir la intensidad del ritmo de la reacción solar de fusión. Este esquema muestra el sistema de medición del flujo de neutrinos, ya que pueden transformar los núcleos de cloro en núcleos de argón. Lejos de otras reacciones terrestres y cósmicas, se sitúa un gran recipiente con un compuesto rico en cloro (normalmente tricloroetileno, que es lavado con un flujo de → helio para extraer posibles átomos de argón tomados de la atmósfera. Después se le expone al presunto flujo neutrínico durante muchos meses, al cabo de los cuales se lava nuevamente con helio para buscar átomos de argón, que en este caso miden la captación de neutrinos.

Niebla

La niebla se forma por condensación del *vapor de agua* en los estratos de la atmósfera más cercanos al suelo. Su proceso de formación es idéntico al de las nubes, no existiendo más diferencias entre ambos que la altura a que tienen lugar. Convencionalmente se ha establecido que la cantidad de gotitas de agua en suspensión necesaria para que pueda hablarse de niebla debe ser tal que la visibilidad no alcance 1 km. Si ésta es mayor, se dice que existe *neblina* o *bruma*. En las grandes ciudades con una fuerte emisión de contaminantes, se produce un tipo de niebla originado por las partículas de residuos de combustión, que actúan como núcleos de condensación donde se depositan las gotitas de agua. Este tipo de niebla se denomina con el término inglés *smog*, de *smoke* (humo) y *fog* (niebla).



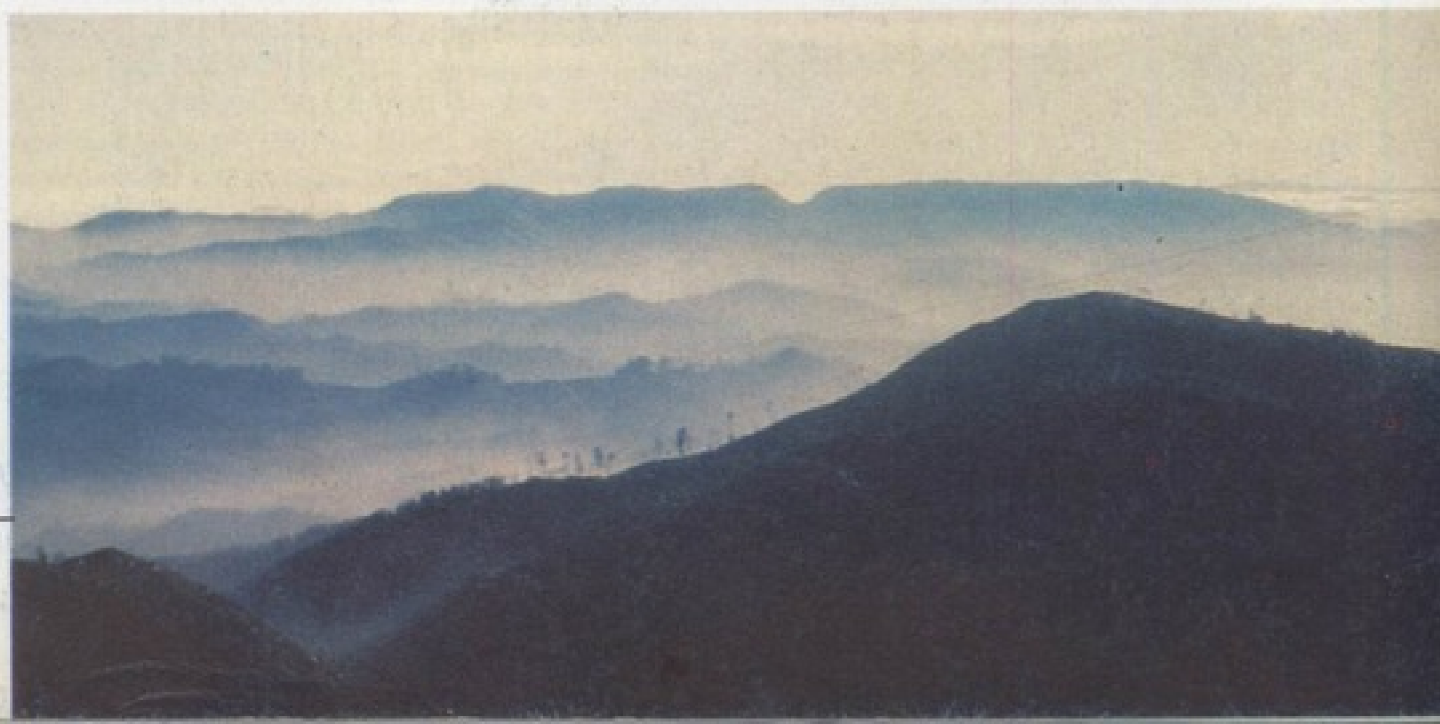
Por qué se forma la niebla Las causas que conducen a la aparición de "nubes" a nivel del suelo son muy diversas, pero el principio físico que acontece es siempre el mismo: al disminuir la temperatura del aire, éste no puede mantener en estado gaseoso toda el agua que contiene, y ésta se condensa sobre pequeñas partículas en suspensión existentes en el aire que reciben el nombre de *núcleos de condensación*.



A la izquierda se muestra el mecanismo de formación de las nieblas de ladera. El aire cálido y húmedo al encontrarse con la montaña es obligado a ascender, disminuyendo su presión, expandiéndose y, por tanto, enfriándose. El vapor se condensa entonces en forma de niebla en la ladera de barlovento y directamente en nubes sobre la cima de la montaña. Abajo, la niebla por irradiación, producida por el enfriamiento del aire húmedo durante la noche, se extiende a lo largo de los valles fríos de una región montañosa.

El dibujo y la foto de la parte superior de esta página y la siguiente ilustran la formación de niebla por irradiación que tiene lugar durante las noches serenas de invierno. El suelo irradia el calor recibido durante el día, de forma que los estratos más bajos de la atmósfera (flecha azul) se enfrían más rápidamente que los estratos superiores (flecha roja), produciéndose junto al suelo la condensación del vapor de agua.

La niebla siempre va asociada a un enfriamiento rápido del aire en contacto con la superficie, bien porque el terreno esté más frío que el aire que se encuentra sobre él, bien porque una superficie de agua se encuentre más caliente que el estrato de aire en contacto con ella. Su clasificación se establece atendiendo a los factores meteorológicos que dan lugar a ese enfriamiento en la atmósfera. Así, tenemos: la *niebla por irradiación*, que se produce durante las noches despejadas de invierno a causa de un rápido enfriamiento de la superficie terrestre. Después del ocaso, el suelo deja de recibir radiación solar y emite al espacio calor en forma de radiación infrarroja invisible, enfriándose rápidamente. Los estratos más cercanos al suelo se enfrían por contacto hasta saturarse y producirse la condensación. Si la noche es larga, la niebla continúa creciendo en altura y densidad hasta que el calor de los primeros rayos de sol de la mañana comienza a evaporarla de nuevo. Este

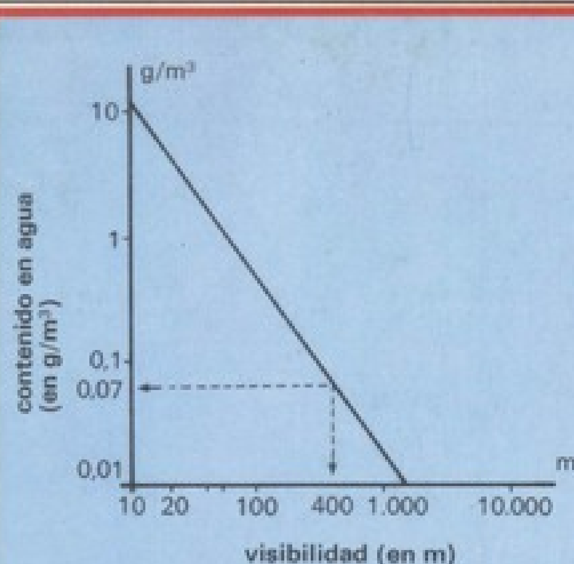




tipo de nieblas es frecuente en situaciones anticiclónicas invernales, con el viento en calma y el suelo húmedo de lluvias recientes.

La *niebla de advección* se forma cuando una masa de aire caliente y húmedo se desplaza sobre una superficie fría. Pueden producirse a cualquier hora del día y, al contrario que en el caso anterior, se ven poco afectadas por la radiación solar. Su duración es la misma que la del paso de la masa de aire. La mayor parte de las nieblas que se producen sobre el mar son de este tipo, y son particularmente frecuentes en las regiones donde el viento impulsa el aire desde una zona de corriente marina cálida a otra fría y próxima.

La *niebla de evaporación* tiene lugar cuando una masa de aire frío se traslada sobre una superficie húmeda que se encuentra a temperatura muy superior; el agua de la superficie se evapora y se eleva, enfriándose al penetrar en el aire frío hasta alcanzar la saturación, momento en que se condensa de nuevo en forma de niebla. Es el caso del "humo" de una taza de café muy caliente, o del aliento que se hace visible en días de frío. Nieblas de este tipo aparecen cuando el aire extraordinariamente frío fluye sobre la superficie del mar, conocidas vulgarmente como "humos del mar ártico".



Cuando el contenido en agua (en forma de pequeñas gotas) de la atmósfera es mínimo (0,01 gramos por m³, la visibilidad supera 1 km, pero disminuye velozmente cuando el agua alcanza la concentración de 0,07 g/m³, la visibilidad queda ya reducida a 400 metros.

La *niebla de ladera* se produce cuando una masa de aire húmedo es forzada a subir al alcanzar una montaña o colina. Al ascender se produce una expansión y un enfriamiento (técnicamente conocido como *enfriamiento adiabático*), que hace que su temperatura disminuya lo suficiente como para que se alcance la saturación. Este tipo de niebla debe su nombre a que permanece como una lengua sobre la ladera de barlovento de las montañas.

La *niebla frontal* aparece en las zonas de lluvias que preceden a un frente cálido. En esta situación, el aire caliente y húmedo se desliza sobre el frío, formándose nubosidad hasta producir precipitaciones. La lluvia en su caída atraviesa los estratos fríos que se encuentran junto al suelo, saturándolos. Las nieblas de este tipo no suelen ser muy densas y se desplazan con el propio frente.

La niebla constituye un serio peligro para los medios de transporte. La circulación por carretera se hace lenta, dificultosa y aumenta enormemente —tal como demuestran las estadísticas— el riesgo de accidentes.

En la navegación aérea, a pesar de los sofisticados sistemas de orientación y control a bordo de los aviones, los aterrizajes no pueden efectuarse con visibilidad inferior a 600 m, lo que provoca serios trastornos. Muchas han sido y continúan siendo las investigaciones encaminadas a conseguir de forma artificial la desaparición de nieblas en los aeropuertos.



Véase **Lluvia; Nube y atlas de nubes; Vapor y tensión de vapor**



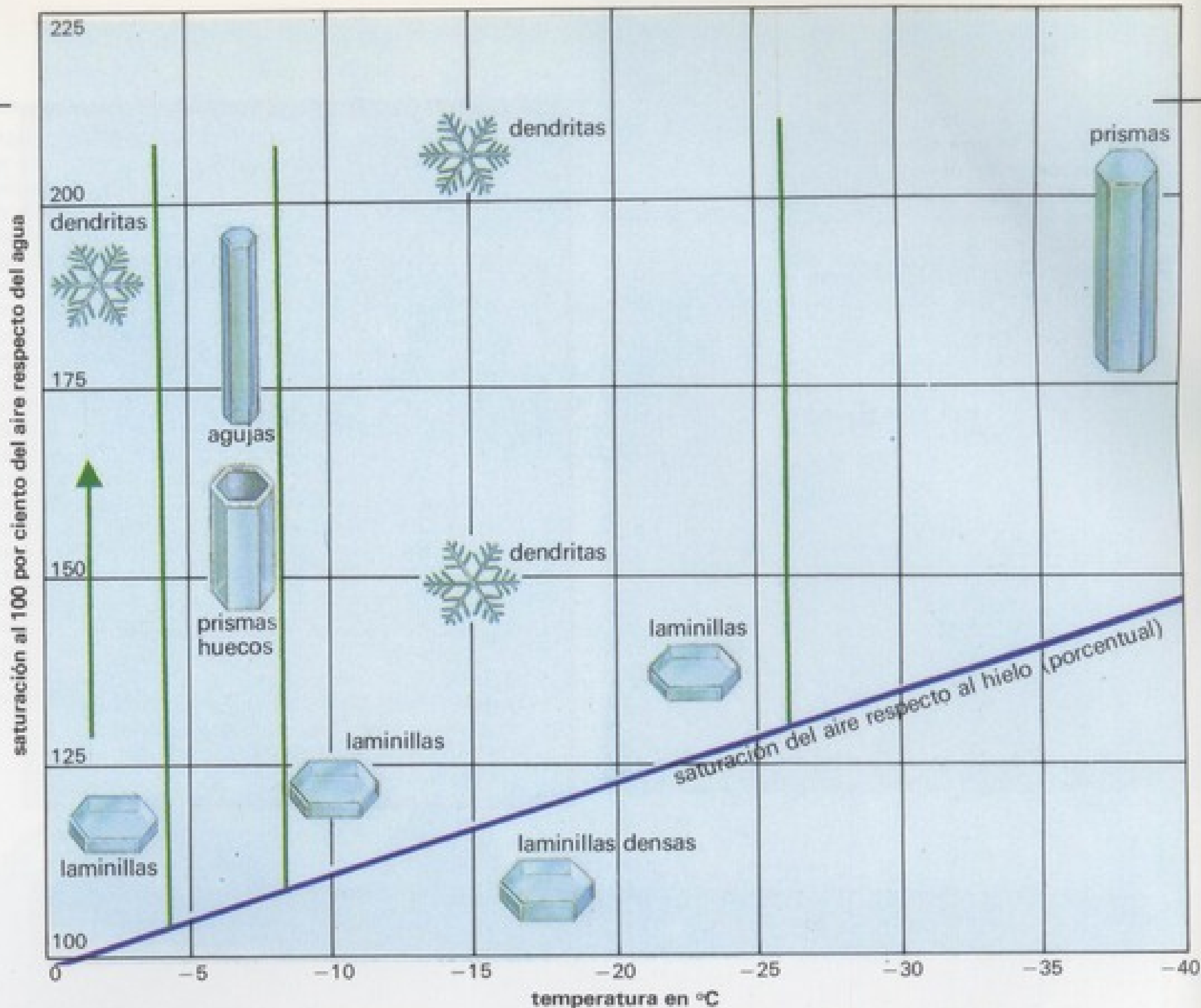
En el centro de esta página, el aire caliente empujado por el viento encuentra la superficie marina, más fría y húmeda, formando la niebla de advección (como muestra también la foto de la izquierda). Aunque en pocos casos, la niebla puede tener un efecto positivo, ya que al reflejar parte del calor irradiado por el suelo impide un excesivo enfriamiento nocturno del mismo, de consecuencias irreversibles para los cultivos. En Estados Unidos se recurre a nieblas producidas artificialmente para obtener este tipo de fenómenos.

Nieve

La nieve está constituida por cristales de hielo que se forman en las zonas altas y frías de las masas nubosas, donde permanecen en suspensión hasta caer a la tierra, recubriendo el suelo por períodos de tiempo más o menos largos o, como ocurre en las regiones polares, formando un casquete helado permanente. La estructura cristalina de la nieve confiere a ésta su característico color al reflejar toda la luz que sobre ella incide, lo que para nuestra retina se manifiesta como blanco.

Formación de la nieve y aspectos en que se presenta Los copos de nieve son estructuras cristalinas simétricas compuestas de gran número de pequeños cristales de hielo originados a partir de las gotitas de agua que forman las nubes. La transformación que origina el paso del agua en estado líquido a estado sólido tiene lugar en las zonas de la nube en donde las temperaturas son muy bajas.

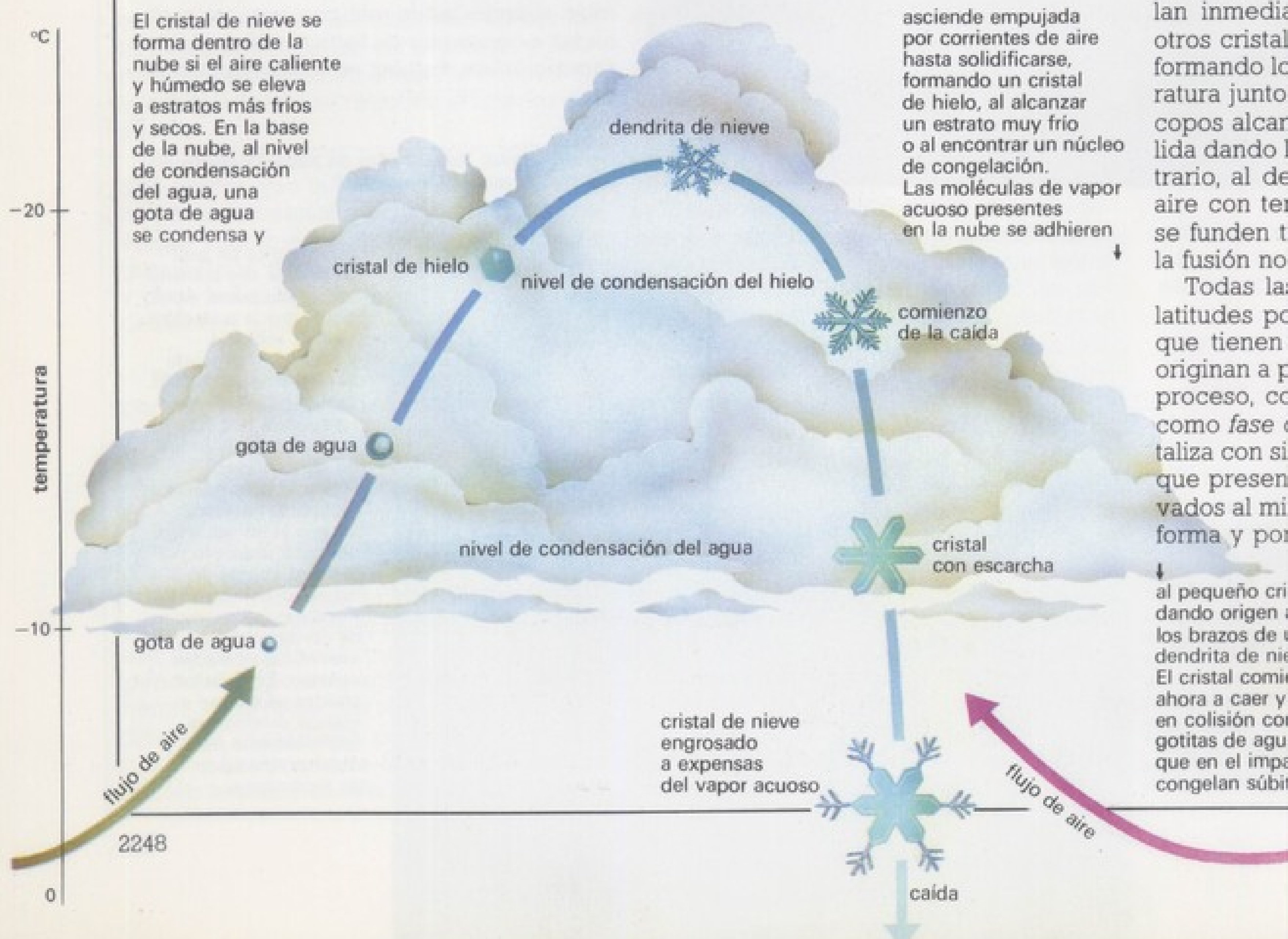
El cambio de estado no se produce, como podría suponerse, al descender la temperatura del aire por debajo de 0 °C, sino que las gotitas de agua permanecen en estado líquido o de subfusión hasta temperaturas cercanas a los -40 °C, a menos que encuentren una partícula o núcleo de congelación efectivo, cuyo papel en la formación de los cristales de hielo es similar al desempeñado por los núcleos de condensación en la formación de lluvia, es decir, sirve de superficie sólida donde pueden adherirse los cristales. Este proceso, aunque no es el más importante, provoca la formación de nieve en los niveles medios de las nubes. El principal mecanismo para la formación de nieve se encuentra en la parte alta de las nubes, donde a temperaturas del orden de -30 °C algunas gotas de agua se congelan espontáneamente, sin necesidad de partículas, sirviendo ellas mismas de núcleos de congelación sobre los que se van formando los cristales de hielo. A estas temperaturas coexisten, pues, gotitas de agua y cristales de hielo. La diferencia existente entre las tensiones de saturación del agua y del hielo obliga a que, para mantener el equilibrio en el interior de la nube, a medida que se forman cristales de hielo se evaporen gotitas de agua, de manera que los copos de nieve nacen por sublimación, o paso directo de vapor a sólido, y no por congelación. Si la temperatura de la nube es menor de -30 °C, el proceso tiene lugar muy rápidamente convirtiéndose toda la nube en cristales de hielo.



La forma de un cristal de nieve y su crecimiento dependen de la temperatura y de la cantidad de vapor de agua contenida en el aire. Algunos cristales crecen como laminillas planas, y otros como prismas o agujas. Un aumento del contenido de vapor da lugar a formas tales como dendritas, estrellas o delgadas agujas (esquema de arriba).

Cuando los cristales alcanzan un tamaño determinado, comienzan a caer. Durante el descenso continúan creciendo por coalescencia o captura, al chocar en su caída con gotas de nubes que se congelan inmediatamente, o al colisionar con otros cristales de hielo a los que se unen formando los copos de nieve. Si la temperatura junto al suelo es inferior a 3 °C, los copos alcanzan la superficie en forma sólida dando lugar a nevadas. Si, por el contrario, al descender atraviesan capas de aire con temperaturas superiores a 0 °C, se funden transformándose en lluvia o, si la fusión no ha sido total, en aguanieve.

Todas las lluvias que se producen en latitudes polares y la mayor parte de las que tienen lugar en latitudes medias se originan a partir de nubes que sufren este proceso, conocido por los meteorólogos como *fase de hielo*. Aunque el hielo cristaliza con simetría hexagonal, los aspectos que presentan los copos de nieve observados al microscopio son múltiples. Por la forma y por las dimensiones de cada uno



El cristal de nieve se forma dentro de la nube si el aire caliente y húmedo se eleva a estratos más fríos y secos. En la base de la nube, al nivel de condensación del agua, una gota de agua se condensa y asciende empujada por corrientes de aire hasta solidificarse, formando un cristal de hielo, al alcanzar un estrato muy frío o al encontrar un núcleo de congelación. Las moléculas de vapor acuoso presentes en la nube se adhieren al pequeño cristal, dando origen a los brazos de una dendrita de nieve. El cristal comienza ahora a caer y entra en colisión con otras gotitas de agua, que en el impacto se congelan súbitamente agrandando el cristal. Una vez fuera de la nube, el cristal continúa creciendo a expensas del vapor de agua atmosférico, y, si la temperatura del aire es suficientemente baja, alcanzará el suelo como nieve.

Los cristales de hielo presentes en una nube están rodeados por pequeñas gotas de agua. Durante el proceso de formación de los copos de nieve, las gotitas pasan de agua líquida a vapor y se subliman sobre el cristal de hielo agrandándolo. El cristal comienza a caer, capturando moléculas de vapor y gotitas de agua que encuentra en su camino, aumentando de tamaño. El roce con el aire desprende algún cristalito de los bordes, que actuará como núcleo sobre el que se formarán otros cristales.

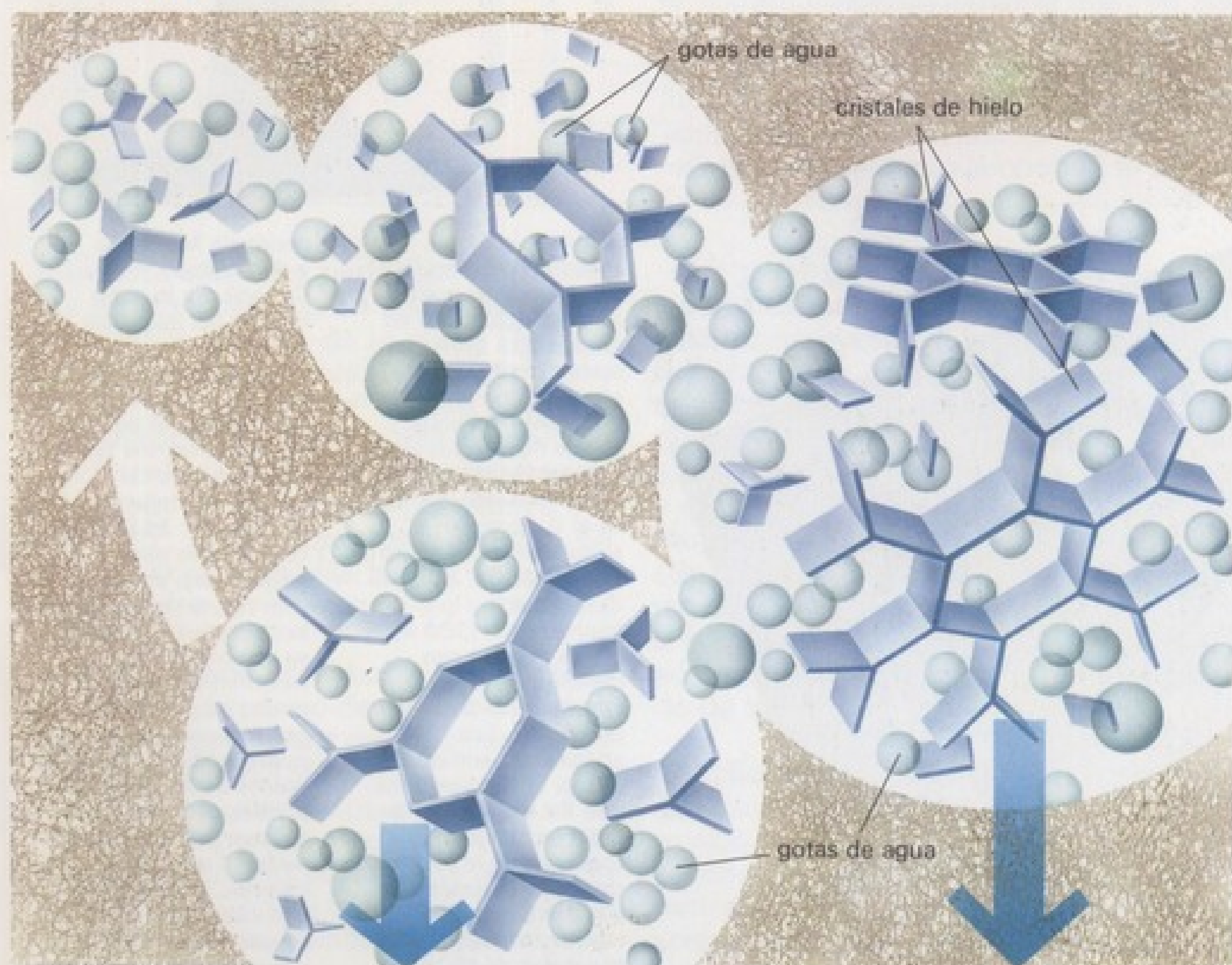
de los cristales es posible remontarse a las condiciones de temperatura y humedad de la nube de donde procede. Un cristal en forma de aguja, por ejemplo, se forma en un intervalo de temperatura entre los -3 y los -5 °C, mientras que un cristal con forma dentrítica o estelar procede de una nube en que la temperatura varía entre los -12 y los -16 °C. La formación de granizo tiene lugar en nubes de desarrollo vertical del tipo cumulonimbos, con fuertes corrientes ascendentes en su interior. Las partículas de hielo permanecen mucho tiempo dentro de la nube, aumentando de tamaño y pasando sucesivamente por áreas cálidas —donde se funden— y áreas frías —donde se congelan en su parte exterior—. Cuando el peso es tal que las corrientes ascendentes no pueden vencerlo, caen con gran fuerza en forma de granizo, que puede ocasionar graves daños en los cultivos. En situaciones favorables se han formado granizos de hasta 50 mm, aproximadamente como pelotas de golf. Se calcula que son necesarios vientos ascendentes de más de 100 km/h para que se produzca una granizada.

Dónde se encuentra la nieve La mayor parte de la llamadas *nubes altas* están formada por cristales de nieve; se trata esencialmente de cirros, altocúmulos y altoestratos, y en alta montaña representan las "nieblas de hielo". En las regiones polares, las gotas de agua de las nubes pueden congelarse a nivel del suelo, produciendo una niebla de diminutos cristales helados que caen muy lentamente centelleando al sol y creando un efecto espectacular llamado *polvo de diamantes*.

A pesar de que su permanencia en la superficie de la tierra se ve favorecida por su color blanco —que le confiere un albedo (radiación solar reflejada) muy superior al del suelo, al de la vegetación o al del mar—, la nieve solamente se conserva durante largos períodos de tiempo cuando las temperaturas son muy bajas.

Esta propiedad de reflejar una elevada proporción de la radiación que recibe permite la conservación de la cubierta vegetal en grandes extensiones del Planeta. Una capa de nieve sobre el terreno, al impedir que el calor irradiado por el suelo se pierda en la atmósfera, evita un descenso excesivo de su temperatura y, en consecuencia, los desastrosos efectos que para la vegetación tienen las heladas.

El espesor y la duración de dichas capas dependen de diversos factores: precipitaciones, viento, temperatura del aire y horas de insolación. En muchos lugares del mundo las nevadas invernales constituyen una de las principales fuentes de agua. Los espesos mantos de nieve, al derretirse en primavera, alimentan durante el resto del año los manantiales, cuyas aguas afluyen a los ríos o son transportadas en cuencas artificiales y canales de irrigación para usos agrícolas o para abastecer a las ciudades.



Zeiss

Véase **Clima; Lluvia; Niebla; Nube y atlas de nubes**

Níquel

NOMBRE	Niquel
SIMBOLO	Ni
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	de Nikolaus, genio de las minas de la mitología alemana
N. ATOMICO	28
P. ATOMICO	58,71
ESTADO NATURAL	en la pentlandita, garnierita, niquelina, y en algunos meteoritos
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	A. F. Cronstedt (1751)
PRODUCCION	fusión de los sulfuros y reducción con carbón o con el proceso Moud
P. f. (°C)	1.455
P. eb. (°C)	2.900
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	8,9
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal dúctil, maleable, magnético; utilizado sobre todo para el niquelado y la producción de aleaciones con cobre, de uso diverso; con cromo, para resistencias eléctricas; con hierro, para plantas químicas, motores, piezas para aviones, etcétera.



A la izquierda, las famosas monedas de 5 céntimos de dólar americano fabricadas con una aleación rica en níquel. Otras monedas están hechas con aleaciones de acero inoxidable que contienen níquel en un porcentaje de, al menos, el 20%. Este metal y sus aleaciones resultan todavía muy difíciles de acuñar. Bajo estas líneas, una copa coloreada con óxido de níquel.

El níquel fue llamado así por los mineros alemanes, quienes a menudo se veían engañados cuando en su búsqueda del cobre daban con un mineral semejante que luego —al emplear los métodos de obtención adecuados para el cobre— producía sólo escorias. Pensando que estuviese embrujado, llamaron a este mineral *Kupfernickel* o "cobre del viejo Nick", (abreviatura de Nikolaus, genio de las minas). El nombre permaneció también cuando el níquel fue al fin aislado y reconocido como elemento en 1751 por el químico sueco Cronstedt.

Pronto el níquel se convirtió en uno de los metales industriales más utilizados, principalmente en aleación con otros elementos. Es usado por sus buenas cualidades mecánicas y por su resistencia a la corrosión, así como por sus propiedades ferromagnéticas.

Elementos de transición El níquel, metal duro y de brillo plateado, pertenece, como la mayor parte de los metales de interés industrial, a un conjunto de elementos llamados *de transición.*

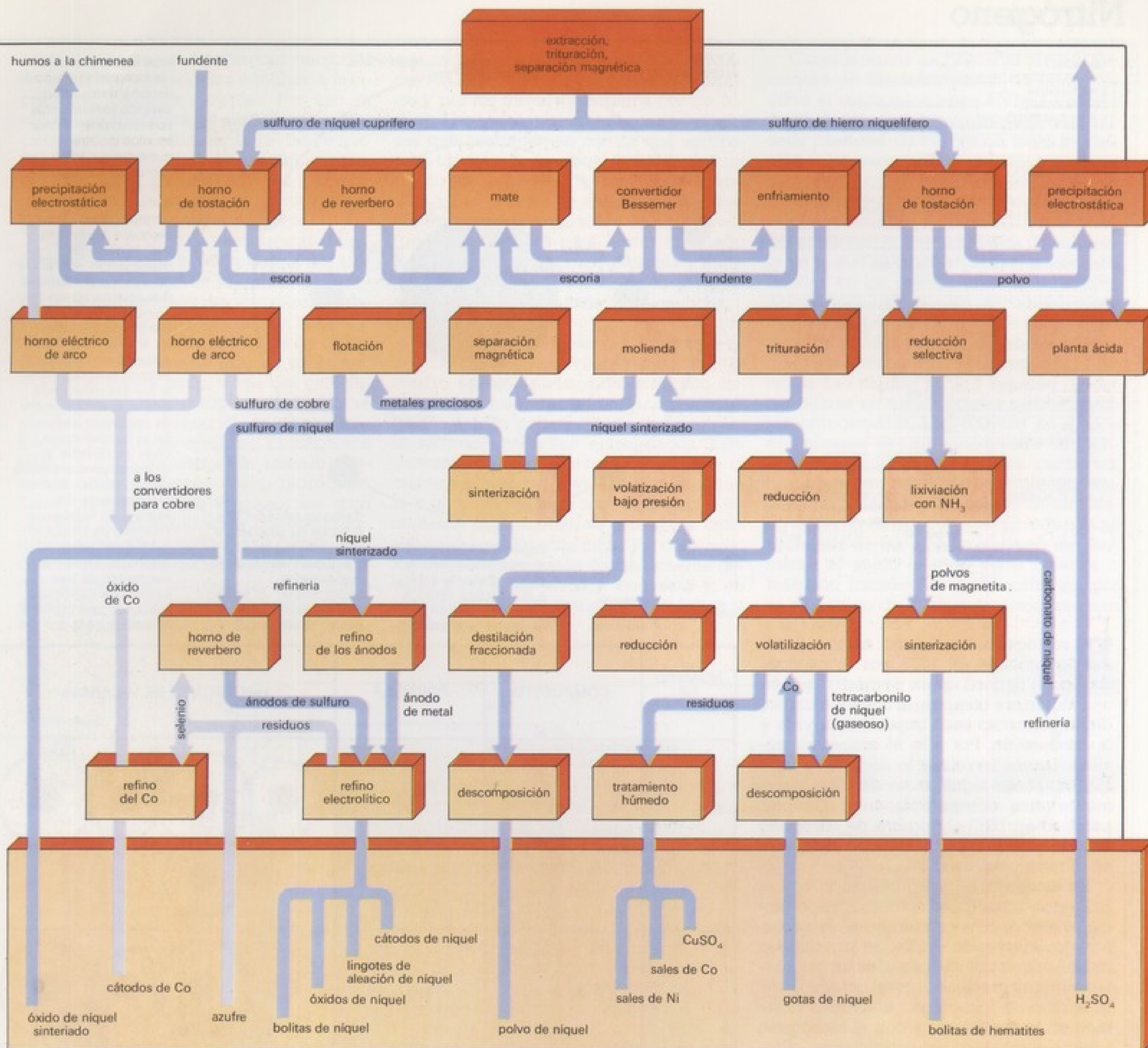
Los elementos de transición comprenden cuatro series situadas en los períodos 4, 5, 6 y 7 de la tabla periódica de los elementos. La primera serie, a la que pertenece el níquel, la forman diez elementos del período 4 (desde el escandio al cinc). El grupo VIII b de este período está formado por la tríada hierro, cobalto y níquel, muy semejantes entre sí.

Los elementos de transición presentan una peculiar configuración electrónica: el electrón que diferencia a un elemento del anterior (electrón *diferenciador*) va alojándose en orbitales *d* correspondientes a un nivel inferior en una unidad al determinado por el período al que pertenece el ele-





A la izquierda, muestras de níquel en polvo y en bolitas para su utilización en laboratorio. El níquel metálico se presenta en color gris plateado y brillante. Aunque puede manifestar los estados de oxidación III y IV, el más común es el II, como en el sulfato del cual se ven, a la izquierda, algunos cristales al microscopio (100 x), cuyos colores son debidos a la interferencia con luz polarizada. Los cristales de sulfato de níquel (II) observados con luz blanca son de color verde. El esquema de la página siguiente corresponde a la extracción del níquel de los minerales de las ricas minas de Manitoba y de Sudbury, en Canadá. En la parte inferior del esquema se ven las formas a las cuales el metal ha sido, finalmente, reducido en el proceso. Se presentan los tipos más comunes de materia prima para la industria: en bolitas (apropiadas para aleaciones), en polvo y en forma de óxidos sinterizados. El níquel se usa mucho en recubrimientos —por medio de procesos galvánicos— para proteger el hierro y los aceros de la oxidación. A menudo, para obtener una adhesión perfecta entre los metales, se interpone una capa de cobre que se une con el hierro y con el níquel.



mento. El elemento pertenece al período 4 y los orbitales son 3d. Así, la estructura electrónica externa de la tríada Fe, Co y Ni es, respectivamente, $4s^2\ 3d^6$, $4s^2\ 3d^7$ y $4s^2\ 3d^8$. La notación $4s^2$ común a los tres elementos indica que los tres poseen dos electrones en el orbital 4s perteneciente al periodo 4. Las restantes notaciones, $3d^6$, $3d^7$ y $3d^8$, indican que los elementos Fe, Co y Ni contienen seis, siete y ocho electrones respectivamente en los orbitales *d* del nivel 3 (3d).

Como puede apreciarse, hierro, cobalto y níquel disponen de dos electrones *s*, los cuales pueden ser cedidos cuando actúan con valencia +2.

Estos tres elementos presentan otras valencias al perder electrones de los orbitales *d*: entonces suele darse solamente la valencia +3, sobre todo en el hierro y el cobalto (el níquel actúa a veces con valencia +4).

La peculiar estructura electrónica de los tres elementos referidos hace que posean propiedades químicas muy parecidas y algunas propiedades físicas comunes, como la de ser ferromagnéticos, propiedad más acusada en el hierro que en el cobalto y en el níquel. Estos elementos, y en general los de transición, suelen ser muy densos (poco volumen atómico) y ello es debido al alojamiento de los últimos electrones en los orbitales interiores *d* y a la atracción de los mismos hacia el núcleo, cuya carga positiva va aumentando de un átomo a otro.

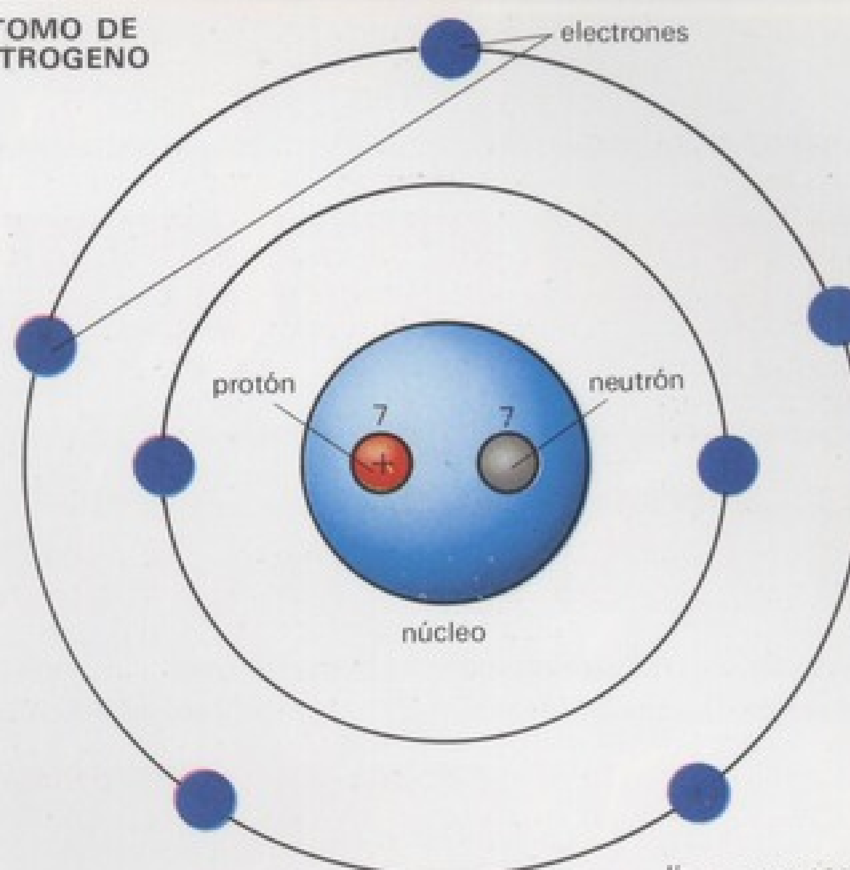
Aplicaciones La estabilidad del níquel, su capacidad de resistencia a la corrosión y sus propiedades magnéticas lo hacen útil para una gran variedad de aplicaciones. Si un elemento es añadido al acero para cambiar sus propiedades, el resultado es el llamado *acero especial*. La adición de una cierta cantidad de níquel, por ejemplo, aumenta la dureza del metal y su resistencia a la corrosión. La aplicación más común del níquel es en el *acero inoxidable*, siendo la variedad más común la que contiene un 8% de níquel, un 18% de cromo y el resto hierro. Una aleación usada normalmente para fabricar los imanes, llamada *alnico*, contiene proporciones variables de aluminio, níquel, cobalto y hierro. El primer uso importante del níquel fue una aleación de níquel-cromo, cuya dureza la hacía apta para construir placas acorazadas.

Una de las aplicaciones más notables del níquel es tal vez la fabricación de monedas: muchos países poseen monedas de níquel en estado puro o constituidas por una aleación de un 25% de níquel y un 75% de cobre.

Véase **Aleación; Cobalto; Hierro; Metales**

Nitrógeno

SIMBOLO	N
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del latín *nitrogenum*
N. ATOMICO	7
PESO ATOMICO	14,0067
ESTADO NATURAL	en estado elemental es el principal componente de la atmósfera; combinado está presente en las proteínas; el mineral principal es el nitrato de sodio
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	D. Rutherford (1772)
PRODUCCION	destilación de aire líquido
P. f. (°C)	−209,86
P. eb. (°C)	−195,8
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	1,25046
COLOR	incoloro
PROPIEDADES Y APLICACIONES	gas muy poco reactivo, del que se obtienen por síntesis amoniaco, ácido nítrico, calciocianamida y urea; tiene una importancia esencial para la vida animal y vegetal.



nitrógeno = 7 protones, 7 neutrones, 7 electrones

En sus combinaciones con otros elementos, el nitrógeno da lugar a numerosos estados de oxidación (en el esquema bajo estas líneas se recogen los estados de oxidación que presenta en la formación de algunos compuestos importantes). El átomo de nitrógeno tiene cinco electrones en su capa externa: en los nitratos (sales de ácido nítrico), éstos son cedidos parcialmente (compartidos) a tres átomos de oxígeno y el nitrógeno actúa con número de oxidación +5. En los nitritos (sales de ácido nitroso), el nitrógeno cede dos electrones y su número de oxidación es +3. En la molécula de nitrógeno, dos átomos ponen en común tres pares de electrones (se forma un enlace triple) y ninguno de los dos átomos desplaza hacia sí los electrones más que el otro: el número de oxidación es 0. En la hidroxilamina, cede un electrón al oxígeno, pero al mismo tiempo acepta dos electrones de dos átomos de hidrógeno (número de oxidación −1). Finalmente, el amoniaco toma tres electrones de tres átomos de hidrógeno, actuando con número de oxidación −3.

NUMERO DE OXIDACION	COMPUESTO	FORMULA	ELECTRONES DE VALENCIA
+5	ion nitrato	NO^{-}_{3}	O N O K O
+3	ion nitrito	NO^{-}_{2}	O N O K
0	nitrógeno molecular	N_2	N N
−1	hidroxilamina	$HONH_2$	H N O H H
−3	amoniaco	NH_3	H N H H

El nitrógeno fue aislado como sustancia simple en 1772 por el escocés Daniel Rutherford, quien demostró que en una atmósfera compuesta únicamente por dicho elemento sería imposible la vida y la combustión. Por ello, el eminente químico francés Lavoisier lo denominó *azoe*, que en griego significa *sin vida*. Posteriormente otro compatriota suyo, Chaptal, propuso en 1823 el nombre de *nitrógeno* debido a la presencia de este elemento en el nitro o salitre (KNO_3).

En estado libre, pero mezclado con el oxígeno y otros gases de menor importancia, el nitrógeno se encuentra en la atmósfera constituyendo el 78% de su volumen total. Aunque por lo general es un gas bastante inerte, reacciona con el oxígeno bajo la acción de descargas eléctricas (también en la atmósfera) y con el hidrógeno y otros elementos en condiciones especiales de presión y temperatura en presencia de catalizadores. Ciertas bacterias simbióticas que se encuentran en las raíces de las leguminosas fijan nitrógeno atmosférico, del que se benefician dichas plantas.

Los compuestos de nitrógeno son muy abundantes. En contra de lo que sugiere su nombre primitivo, el nitrógeno es uno de los elementos esenciales de compuestos orgánicos tales como las proteínas, enzimas, hormonas y vitaminas, imprescindibles para el desarrollo de los seres vivos.

Compuestos inorgánicos del nitrógeno. Aplicaciones En condiciones normales, el nitrógeno es un gas incoloro, inodoro, insípido y de difícil licuación. La reserva más importante de nitrógeno libre es la atmósfera, en donde se encuentra formando moléculas diatómicas (N_2). El enlace químico que une los dos átomos de la molécula es tan fuerte, que este gas es quími-

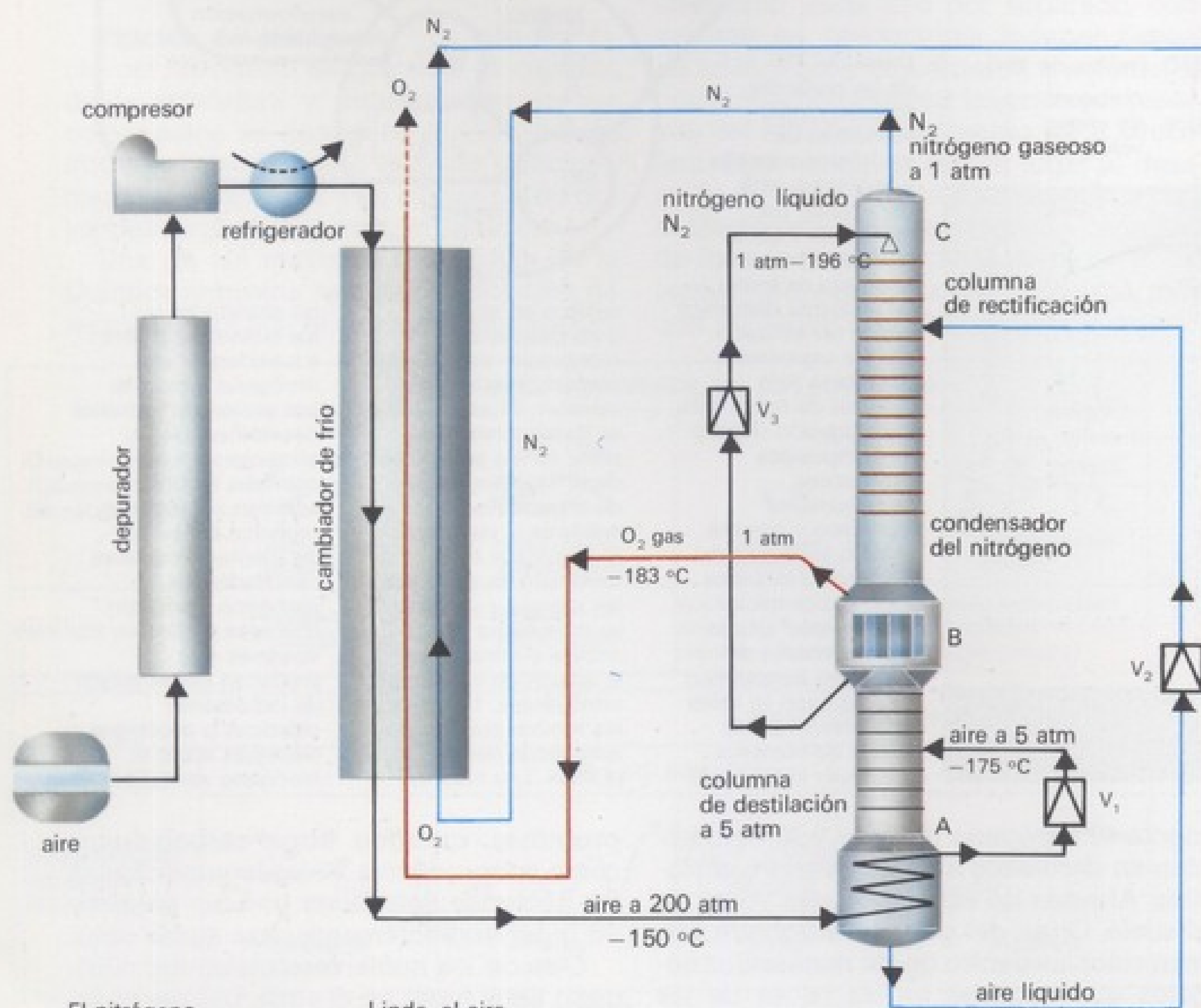
camente inerte en condiciones normales de presión y temperatura e incluso a temperaturas bastante elevadas. Por eso se utiliza una atmósfera de nitrógeno y argón para proteger los filamentos de las lámparas de incandescencia de su volatilización, y además, por ser ambos gases químicamente inertes, tampoco reaccionan con el metal del filamento incandescente.

También se emplean atmósferas de nitrógeno de mayor presión que la del aire en los termómetros de mercurio para impedir la evaporación del metal, en la elaboración de algunos productos mantenidos a presión y en los procesos de refino de ciertos metales y de algunas vitaminas.

Pero la mayor importancia del nitrógeno reside en sus compuestos. Estos se pueden agrupar en función de los elementos con los que se combina. El amoniaco (NH_3) y los compuestos de amonio contienen tanto nitrógeno como hidrógeno. Tales compuestos se emplean en gran cantidad como fertilizantes. Los compuestos de nitrógeno y oxígeno se llaman *óxidos*. El monóxido de nitrógeno (NO), conocido como *gas hilarante*, se utiliza como anestésico. El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas venenoso de color rojo-pardo que se encuentra en el aire contaminado por los humos de ciertas chimeneas fabriles y por los gases expulsados por los coches. Los nitratos son compuestos diversos que contienen en común una agrupación de átomos o radical formado por un átomo de nitrógeno y tres de oxígeno (NO_3). Los nitratos se emplean como fertilizantes, en la preparación de explosivos (desde la pólvora para armas de fuego hasta la dinamita, la nitroglicerina y algunos más), de fuegos artificiales, cohetes de señalización y productos farmacéuticos.

El ciclo del nitrógeno La biosfera es una fina capa que envuelve la corteza terrestre. Los compuestos de nitrógeno circulan continuamente atravesando este estrecho estrato por medio de una compleja red de conductos entrelazados. Este proceso, de importancia crucial para el mantenimiento de la vida sobre el planeta y al mismo tiempo muy delicado y fácilmente destructible, se denomina *ciclo del nitrógeno*. En este ciclo, los compuestos de nitrógeno pasan continuamente del suelo a los seres vivos y viceversa y, en menor medida, de éstos a la atmósfera y viceversa.

Consideremos en primer lugar el intercambio de los compuestos de nitrógeno entre el suelo y los seres vivos. La mayor parte de los suelos contiene una determinada cantidad de nitrógeno, tanto inorgánico —los compuestos del amoniaco, por ejemplo— como orgánico, en forma de materia animal y vegetal en descomposición que constituye el humus. Los nitratos del suelo son prácticamente la única fuente de la que se originan las proteínas contenidas en las plantas y en los animales. Las plantas utilizan ese nitrógeno como alimento y, por medio de un complejo sistema de transformación, lo convierten primero en aminoácidos y después en proteínas. Las plantas no son capaces de desarrollarse en suelos pobres en compuestos nitrogenados. Los cultivos en suelos con escasez de nitrógeno no sólo dan rendimientos inferiores sino que contienen un porcentaje más bajo en proteínas respecto al mismo tipo de cultivo desarrollado en terrenos más ricos en nitrógeno. Las proteínas de las plantas vuelven directamente al suelo cuando éstas mueren o bien son transferidas a los animales que se alimentan de ellas, y de éstos retornan a la tierra.

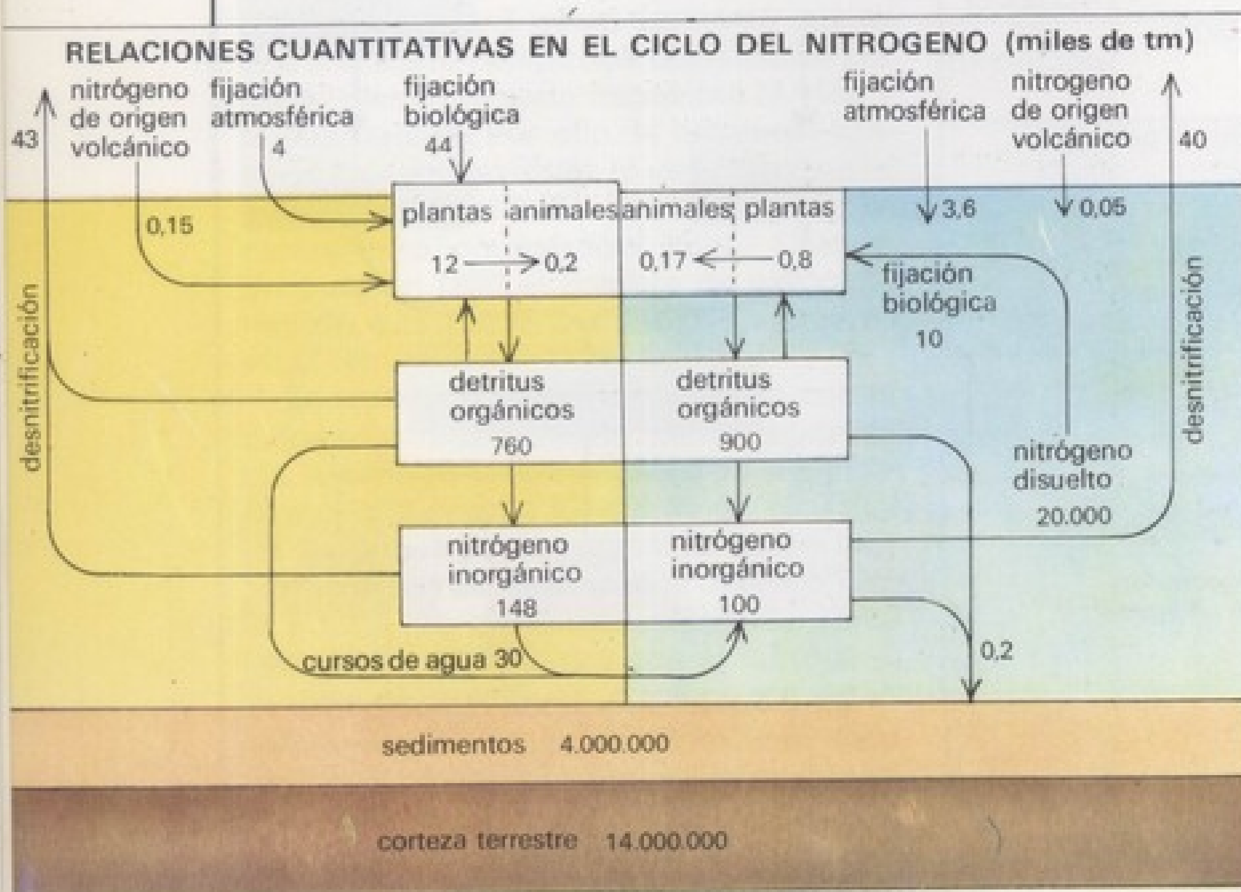




El nitrógeno elemental, materia prima que constituye el punto de partida de la industria de los compuestos nitrogenados, se obtiene por destilación fraccionada del aire líquido, aprovechando el hecho de que el punto de ebullición del oxígeno es −183 °C y el del nitrógeno es −196 °C. En el método Linde, el aire depurado, comprimido y refrigerado entra en un intercambiador de calor, donde se enfría a bajísimas temperaturas por los gases fríos que están a la salida. Después entra por la base de la columna (AB), donde calienta el aire líquido que está en la base y se transforma a su vez en aire líquido por expansión (V_1). En la práctica, en dicha columna resultan: en la parte superior, nitrógeno casi puro, y en la inferior, aire líquido, rico en oxígeno. La verdadera destilación tiene lugar en la columna BC, en cuya base se separa oxígeno puro, mientras que por la parte superior sale el nitrógeno. En V_2 y V_3 se produce la expansión del aire líquido y del nitrógeno, que vuelve a entrar en circulación.

Las proteínas son todas igualmente vitales para el crecimiento de los animales. Una dieta carente de alimentos que contengan nitrógeno origina situaciones de malnutrición, ya que son muy numerosos los procesos vitales del cuerpo que requieren proteínas, vitaminas, enzimas, hormonas y otros compuestos nitrogenados. Estos compuestos nitrogenados de los animales y los que integran las plantas retornan al suelo cuando el animal o la planta mueren, mediante un proceso de mineralización en el que desempeñan un papel importante las bacterias. Los excrementos y la orina de los animales contienen, de hecho, un gran porcentaje de nitratos. Las manchas blancas que se forman sobre la superficie del estiércol, por ejemplo, están constituidas por nitrato de potasio. Durante el período isabelino, era un deber de los agricultores ingleses llevar a las autoridades una parte de su estiércol para la fabricación de pólvora para armas de fuego.

nitrógeno fijado de origen volcánico
fijación atmosférica
los animales transforman el nitrógeno orgánico de las plantas en proteínas
N_2 nitrógeno
leguminosa
N_2 nitrógeno atmosférico
bacterias en estado libre
residuos animales y vegetales
las raíces absorben las sales amoniacales
las raíces absorben los nitritos
bacterias desnitrificantes
Rhizobium de los nódulos radicales
fijación biológica
NH^+_4
transformación en sales amoniacales
nitratos
NO^-_3
transformación en nitrógeno
NO^-_2
nitritos



Cerca del 7% de las proteínas, constituyentes esenciales de los tejidos animales y vegetales, está constituido por nitrógeno. Pero el nitrógeno presente en el aire en forma de molécula diatómica puede ser utilizado por los organismos superiores sólo después de haber sido transformado (fijado) en compuestos inorgánicos, especialmente amoniaco y nitratos. El ciclo biológico del nitrógeno (esquema superior) se inicia "idealmente" con la transformación del nitrógeno atmosférico en amoniaco (o sales de amonio), por la acción de bacterias que viven libres en el suelo o en el agua o en asociación (simbiosis) con ciertas plantas (esquema inferior). El amoniaco se forma también a partir de los productos de la descomposición de organismos animales y vegetales. El amoniaco es asimilado en parte por las plantas y en parte se transforma en nitritos y nitratos por la acción de bacterias nitrificantes. También los nitritos pueden ser asimilados por las plantas. Los nitratos no absorbidos y los nitritos se vuelven a transformar en nitrógeno molecular por acción de bacterias desnitrificantes. Al alimentarse, los animales herbívoros asimilan el nitrógeno orgánico fijado por las plantas. Pequeñas cantidades del nitrógeno fijado son liberadas por los volcanes o se producen por la acción de radiaciones cósmicas o descargas eléctricas sobre el nitrógeno atmosférico.

El nitrógeno circula constantemente no sólo entre el suelo y los organismos vivos sino entre éstos y la atmósfera. Una cierta cantidad de nitrógeno pasa a formar óxidos y después se convierte en amoniaco por efecto de las descargas eléctricas de la atmósfera, llegando a continuación a la tierra transportado por la lluvia.

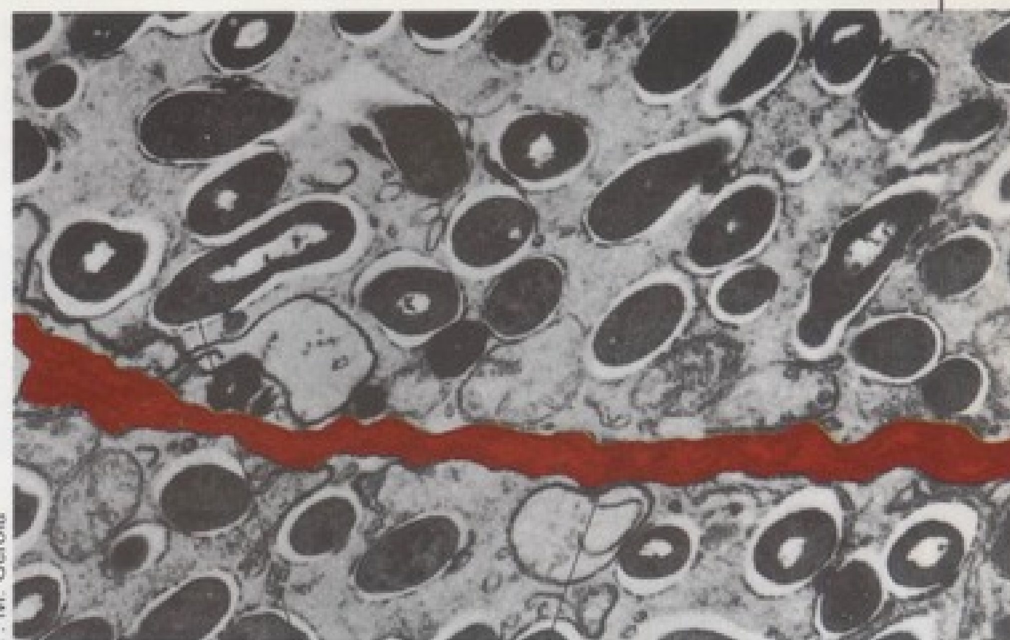
Algunos tipos de bacterias del suelo, llamadas *bacterias desnitrificantes*, transforman una determinada cantidad de los compuestos nitrogenados —los nitratos— en nitrógeno elemental. Pero desde el punto de vista biológico y agrícola, son de mayor importancia las bacterias conocidas por el nombre de *bacterias nitrificantes* o *nitrobacterias*, que captan directamente el nitrógeno del aire y lo transforman en derivados más fácilmente asimilables. Algunas de estas bacterias viven en el suelo. Otras, del género *Rhizobium*, forman colonias dentro de los minúsculos nódulos que abundan en las raíces de las plantas leguminosas, entre las que se encuentran la alfalfa, las judías, los cacahuetes, la veza, los yeros, la soja, la esparceta, etc. La relación entre estas plantas y las bacterias es un clásico ejemplo de simbiosis. Las bacterias del género *Rhizobium* toman los hidratos de carbono producidos por la planta y los utilizan para sintetizar los compuestos nitrogenados, mientras que la planta utiliza los nitratos producidos por las bacterias para sintetizar las proteínas, creando otros carbohidratos como subproductos. Ni las leguminosas ni las bacterias *Rhizobium* podrían sobrevivir independientemente unas de las otras.

Otro de los numerosos ciclos del nitrógeno tiene lugar en el agua. Los peces introducen los compuestos de nitrógeno en el agua a partir de sus propios productos de desecho. Las bacterias transforman estos residuos en nitratos, que sirven para la nutrición de plantas acuáticas, como las algas, de las que se nutren a su vez los peces, y así vuelve a comenzar el ciclo.

Cuando la materia orgánica de desecho (heces, criaturas muertas, etc.) alcanza el fondo del mar o del lago, se forma una rica capa de sedimentos, análogos al

Junto a estas líneas, raíces de *Lupinus*, leguminosa con tubérculos o nódulos radicales llenos de bacterias del género *Rhizobium*. Más a la derecha, sección de una célula de tubérculo radical de leguminosa vista al microscopio electrónico. Las células están llenas de bacterias envueltas en una membrana. Se piensa que la fijación del nitrógeno atmosférico tiene lugar precisamente entre la pared de la bacteria y la membrana que la envuelve.





humus del suelo, que procura el alimento a los organismos que viven en el fondo.

Estos ciclos se pueden destruir muy fácilmente. Un cultivo excesivo, por ejemplo, empobrece el suelo en nitrógeno. Actualmente este proceso de empobrecimiento se corrige aportando a ese suelo fertilizantes y alternando cultivos que fijan el nitrógeno con otros que lo consumen. Es muy conocida y practicada la rotación de cereales y leguminosas.

Fijación del nitrógeno La fase del ciclo del nitrógeno en que éste es captado de la atmósfera y transformado en sus compuestos se denomina *fijación del nitrógeno*. Este elemento es fijado principalmente por bacterias y en menor grado por las descargas eléctricas atmosféricas.

Una de las mayores conquistas de la Química moderna ha sido la adopción de técnicas para fijar el nitrógeno por vía sintética. Hasta principios de este siglo, la materia prima del nitrógeno para explosivos, fertilizantes y otros compuestos estaba constituida por los enormes depósitos de nitrato de sodio existentes en el norte de Chile (llamado por eso *nitrato de Chile*). Los acontecimientos que hicieron estallar la I Guerra Mundial pusieron en evidencia no sólo la importancia estratégica sino también la vulnerabilidad de esos depósitos. Alemania, Rusia y Estados Unidos intentaron, cada uno por separado, convertirse en productores independientes de nitrógeno, y comenzaron a estudiar la posibilidad de explotar las enormes reservas del nitrógeno contenido en la atmósfera. Esas tentativas dieron lugar al desarrollo de diversos procesos sintéticos para la fijación de este elemento. En cada uno de los procesos, un cierto reactivo es calentado en presencia de nitrógeno para que las moléculas diatómicas de éste se disocien y los átomos de nitrógeno resultantes se combinen con dicho reactivo. Los compuestos nitrogenados así obtenidos se transforman a su vez, por medio de procesos químicos, en compuestos específicos de aplicación industrial.

Desde el punto de vista comercial, el método más adecuado para fijar el nitrógeno está representado por el proceso Haber, que utiliza la reacción entre el hidrógeno y el nitrógeno a temperatura y presión lo suficientemente altas, y en presencia de un catalizador. Con esta reacción se obtiene amoniaco, fácilmente convertible en otros derivados del nitrógeno, principalmente en ácido nítrico y nitratos. La primera planta de síntesis de amoniaco comenzó a funcionar un año antes del estallido de la I Guerra Mundial.

Véase **Agricultura; Aminoácidos; Amoniaco; Proteínas**

	BACTERIAS QUE VIVEN EN ESTADO LIBRE			
Organismos fijadores de nitrógeno	*Azotobacter vinelandii*	*Clostridium pasteurianum*	*Klebsiella pneumoniae*	*Rhodospirillum rubrum*
Hábitat natural	suelos aerobios	suelos anaerobios	suelos aerobios y anaerobios, agua; con plantas y hombres	aguas estancadas (bacterias fotosintéticas)

Los microorganismos fijadores del nitrógeno atmosférico comprenden bacterias en estado libre y bacterias que viven en simbiosis con plantas, entre ellas leguminosas como el trébol, la soja y la alfalfa. Un caso curioso es el de las bacterias que viven en el intestino de las termitas. Entre las bacterias libres se encuentran muchas cianobacterias.

	BACTERIAS SIMBIOTICAS						
	NO LEGUMINOSAS				LEGUMINOSAS		
Organismos fijadores de nitrógeno	*Citrobacter freundii*	*Frankia alnii*	*Nostoc muscorum*	*Anabaena azollae*	*Rhizobium japonicum*	*Rhizobium trifolii*	*Rhizobium meliloti*
Organismos asociados	termitas	aliso	*Gunnera macrophylla*	azolla	soja	trébol	alfalfa
Hábitat natural	intestino de las termitas	nódulos radicales	tallos (cianobacterias)	hojas (cianobacterias)	nódulos radicales	nódulos radicales	nódulos radicales

Nube y atlas de nubes

El vapor de agua es uno de los principales componentes de la atmósfera terrestre y el que más directamente influye, a través de múltiples fenómenos meteorológicos, sobre los distintos climas y formas de vida que pueblan la Tierra. Su concentración en el aire, en contraposición con los demás constituyentes, varía entre márgenes muy amplios, pudiendo experimentar drásticas modificaciones tanto espacial como temporalmente.

Las nubes son la manifestación sensible del vapor de agua —invisible para nuestros ojos— contenido en la atmósfera. Formadas de menudas gotitas o de pequeñísimos cristales de hielo —o por una mezcla de ambos—, las nubes se acumulan en masas de distinta forma y dimensiones, irregularmente distribuidas sobre la superficie terrestre, donde parecen flotar en el cielo arrastradas por invisibles corrientes de aire, contribuyendo así a la redistribución del calor desde las latitudes tropicales a las polares.

Vapor de agua en el aire El origen de la energía que mantiene todos los procesos atmosféricos, incluido el ciclo del agua, es la radiación solar. Esta evapora grandes cantidades de agua (100.000 billones de litros/año) —procedente en su mayor parte de mares y océanos—, que se incorporan al aire de los estratos superficiales de la atmósfera, elevándose, ya que el aire húmedo pesa menos que el seco y tiende a subir. Al mismo tiempo, los vientos mueven esas masas de aire, desplazándolas sobre la superficie del mar hasta miles de kilómetros de distancia, recibiendo en su recorrido nuevos aportes de vapor de agua.

Una masa de aire no puede acumular cantidades ilimitadas de vapor. Llegado un punto alcanza la *saturación*, y solamente acepta nuevos aportes si ha tenido lugar la condensación de una cantidad similar. Para representar el estado higroscópico de una masa de aire (cantidad de agua que contiene), se han ideado tres índices: el primero mide la cantidad de vapor de agua contenida en 1 m^3 de aire expresada en gramos, y se denomina índice de *humedad absoluta*. En las zonas ecuatoriales este índice registra valores altos, ya que el aire cálido tiene un punto de saturación elevado y admite gran cantidad de vapor de agua antes de saturarse; lo contrario sucede en las regiones templadas y frías donde la humedad absoluta del aire suele ser muy baja.

En Meteorología más importante que la humedad absoluta es el índice de *humedad relativa*, definido como el cociente entre la cantidad de vapor de agua contenida en una masa de aire y la que podría contener el mismo volumen de aire si estuviese saturado a la misma temperatura. La humedad relativa se expresa en tanto por cien y su medida es de gran importancia para la predicción meteorológica, ya que permite anticipar las sucesivas transformaciones de una masa de aire. Puede variar desde un 100% en la niebla y en la mayoría de las nubes hasta un 10% en los desiertos durante el día. Los boletines meteorológicos incluyen la humedad relativa entre los parámetros que facilitan diariamente.

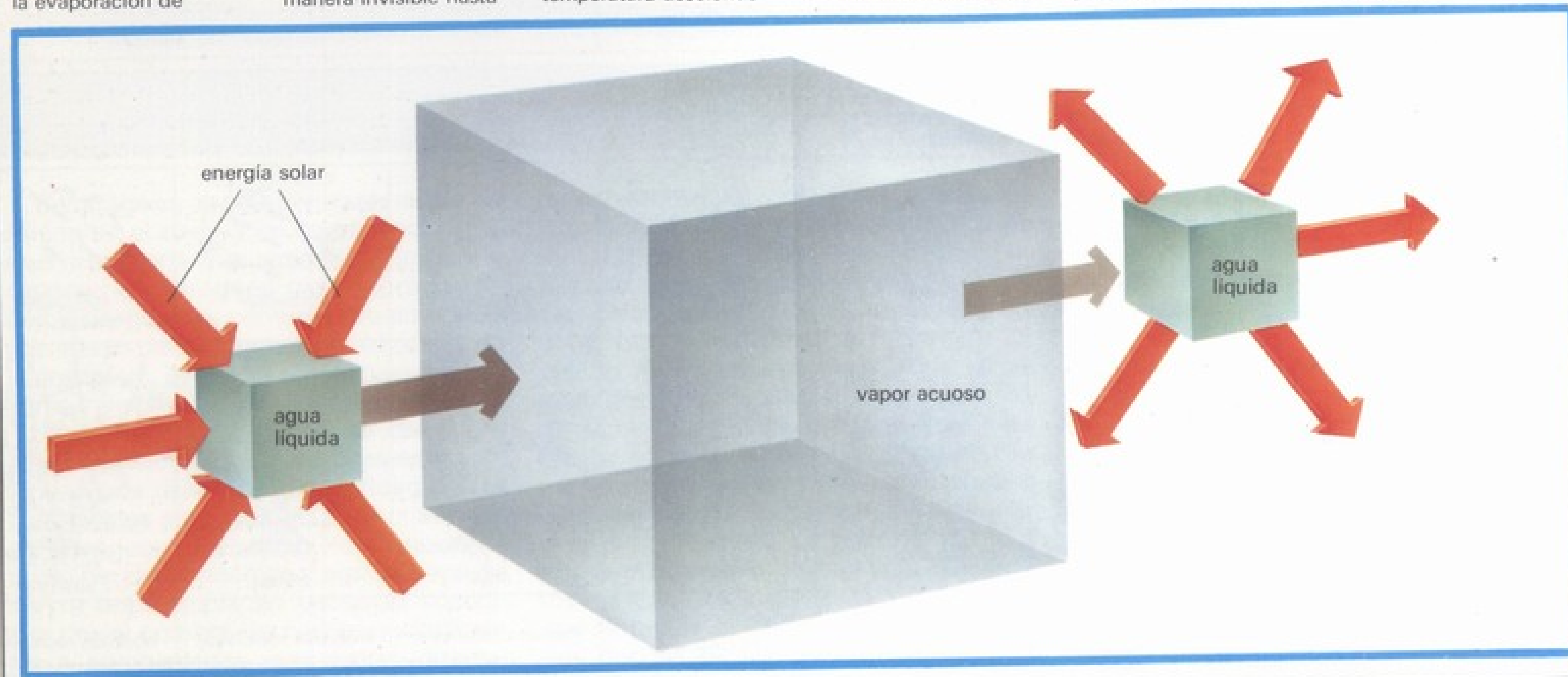
Si la temperatura del aire disminuye a presión constante, alcanzará un valor en que se produzca la saturación. A esta temperatura, que es característica de cada masa de aire, se le denomina *punto* o *temperatura de rocío*, y es el tercer índice que mide el vapor contenido en la atmósfera. Cuando en una noche despejada se alcanza esta temperatura, el vapor se condensa en pequeñas gotas que se depositan en las superficies, formando el *rocío* —si la temperatura es superior a 0 °C— o la *escarcha* —si es inferior a 0 °C—. Los meteorólogos utilizan la temperatura de rocío para la predicción de nieblas.

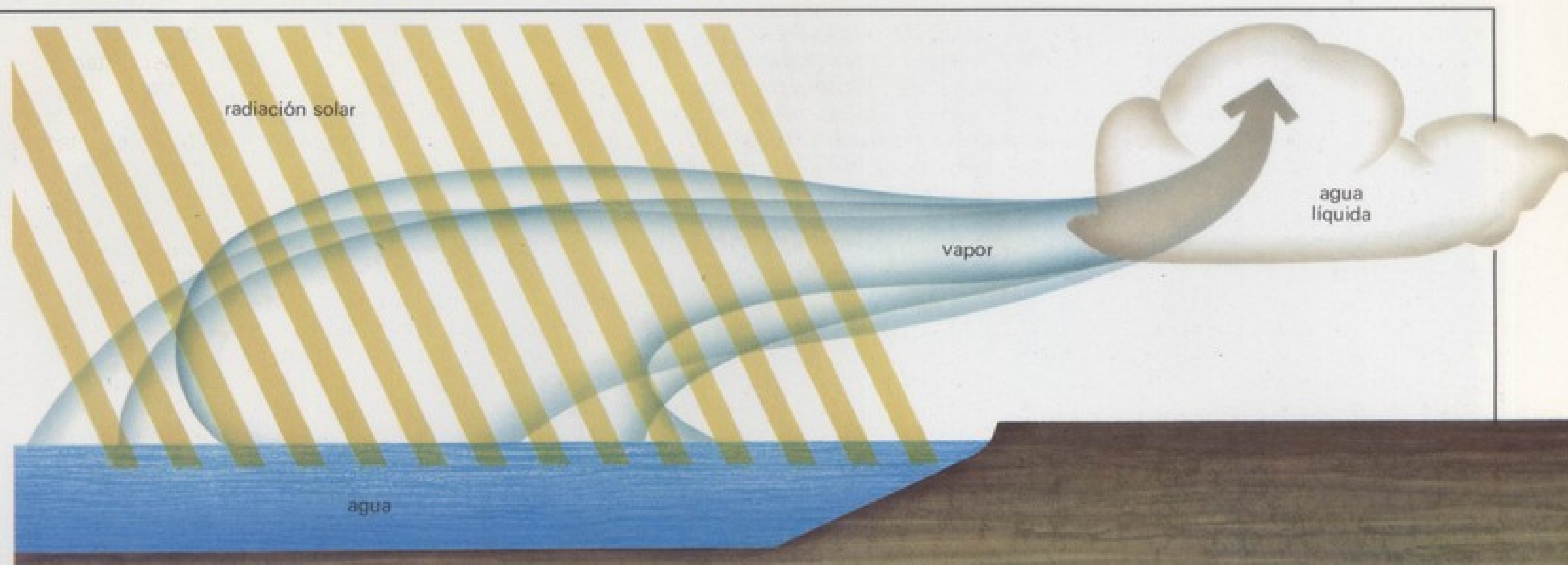
Proceso de formación de una nube Al remover un líquido, su temperatura se hace rápidamente uniforme; sin embargo, no ocurre igual con un gas, en cuyo seno se establece durante mucho tiempo una completa gama intermedia de temperatura (gradiante térmico). Este comportamiento, que tiene su origen en la distinta compresibilidad molecular de líquidos y gases, juega un papel de suma importancia en el transporte de vapor de agua y en la formación de nubes.

Cuando una masa de aire comienza a elevarse, experimenta sucesivas expansiones debido a que la presión atmosférica disminuye con la altura. El trabajo realizado durante la expansión se hace a expensas de su propia energía interna y, en consecuencia, su temperatura disminuye. Por el contrario, si una masa de aire desciende, se comprime y su temperatura aumenta. En ambos casos se produce un desplazamiento vertical bastante rápido, que unido a la propiedad de los gases antes citada, hace que no tengan lugar importantes intercambios de calor entre la masa de aire y su entorno. A este tipo de procesos se les llama *adiabáticos* y en esencia son los que tienen lugar en la génesis de las nubes.

Si una masa de aire caliente y con un alto contenido de vapor de agua (humedad absoluta elevada) comienza a ascender, se expande y disminuye su temperatura —a razón de 1 °C por cada 100 m de

La energía aportada por la radiación solar a la superficie de los lagos, mares y océanos provoca la evaporación de grandes cantidades de agua que pasan en forma de vapor a la atmósfera, donde permanecen de manera invisible hasta que al elevarse —como consecuencia de un calentamiento o por causas orográficas— su temperatura desciende por debajo del punto de rocío (particular para cada masa de aire en función de su humedad relativa). En ese momento, tiene lugar la condensación del vapor, apareciendo una enorme cantidad de pequeñas gotitas de agua visibles que permanecen suspendidas en la atmósfera formando las masas algodonosas que conocemos bajo la denominación de nubes.





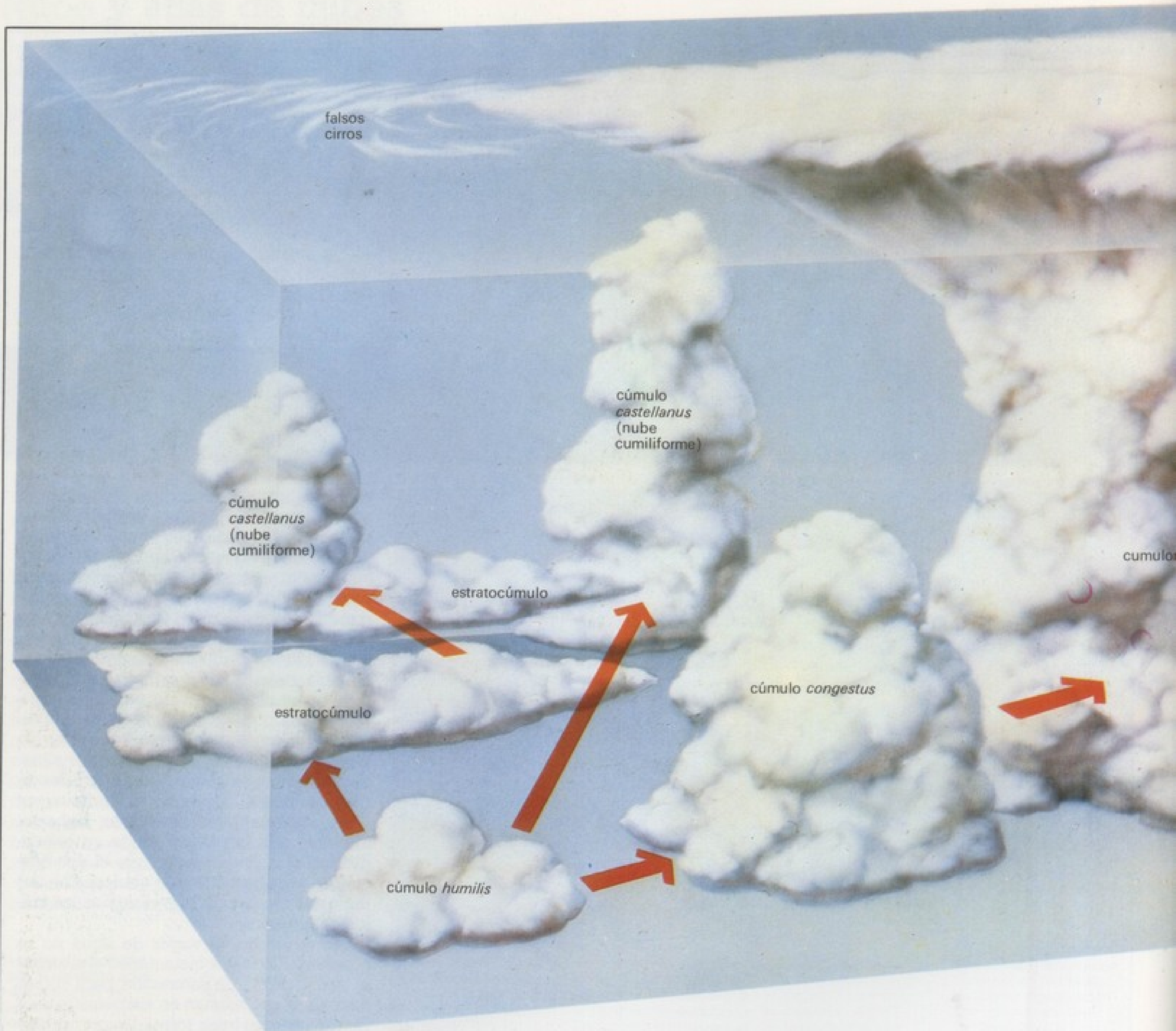
CLASIFICACION DE LAS NUBES

Géneros	Especie	Variedad	Particularidad
Cirrus [Ci]	fibratus [fib] uncinus [unc] spissatusa [spi] castellanus [cas] fioccus [fio]	intortus [in] radiatus [ra] vertebratus [ve] duplicatus [du]	mamma [mam]
Cirrocumulus [Cc]	stratiformis [str] lenticularis [len] castellanus fioccus	undulatus [un] lacunosus [la]	virga [vir] mamma
Cirrostratus [Cs]	fibratus nebulosus [neb]	duplicatus undulatus	—
Altocumulus [Ac]	stratiformis lenticularis castellanus fioccus	translucidus [tr] perlucidus [pe] opacus [op] duplicatus undulatus radiatus lacunosus	virga mamma
Altostratus [As]	—	translucidus opacus duplicatus undulatus radiatus	virga praecipitatio [pra] pannus [pan] mamma
Nimbostratus [Ns]	—	—	praecipitatio virga pannus
Stratocumulus [Sc]	stratiformis lenticularis castellanus	translucidus perlucidus opacus duplicatus undulatus radiatus lacunosus	mamma virga praecipitatio
Stratus [St]	nebulosus fractus [fra]	opacus translucidus undulatus	praecipitatio
Cumulus [Cu]	humilis [hum] mediocris [med] congestus [con] fractus	radiatus	pileus [pil] velum [vel] virga praecipitatio arcus [arc] pannus tuba [tub]
Cumulonimbus [Cb]	calvus [cal] capillatus [cap]	—	praecipitatio virga pannus incus [inc] mamma pileus velum arcus tuba

ascenso aproximadamente (enfriamiento adiabático seco)—, lo que conlleva un aumento progresivo de su humedad relativa. Al continuar ascendiendo, alcanza la temperatura de rocío y comienza la condensación en pequeñas gotitas, cuya acumulación forma la nube. Igualmente, si una masa nubosa desciende, se comprime, aumentando su temperatura y, en consecuencia, deja de estar saturada, admitiendo nuevas cantidades de vapor de agua. Las gotitas que formaban la nube se evaporan y la masa gaseosa se vuelve invisible de nuevo. Esto explica que las situaciones meteorológicas de bajas presiones, caracterizadas por aire ascendente, se vean acompañadas de masas nubosas, mientras que las áreas donde se extienden las altas presiones en que el aire desciende y se calienta por compresión, las nubes se evaporan y predominan los cielos despejados.

Sin embargo, el vapor de agua no se condensa de forma instantánea al alcanzar el aire el punto de saturación, para ello es necesario que existan en suspensión unas pequeñas partículas, formadas primordialmente de sal marina y polvo, llamadas *núcleos de condensación*, sobre los que se deposita el agua. El tamaño de estos núcleos puede oscilar entre 0,001 y 10 micras de radio (una micra es igual a 10^{-3} mm), y su abundancia es inversamente proporcional a su tamaño. En todo caso, su número es enorme, pudiendo encontrarse entre 10 y 1.000 millones por metro cúbico. En ausencia de estos núcleos se produce una sobresaturación del aire, es decir, el aire contiene mayor cantidad de agua en estado gaseoso de la que teóricamente podría contener sin condensarse. En experimentos de laboratorio se han alcanzado humedades relativas superiores al 400%.

Una nube que no produzca precipitación está formada por un elevado número (1.000 millones/m^3) de gotitas de agua, cada una originada por condensaciones sobre un núcleo de tamaño comprendido entre 1 y 30 micras. Aunque por la acción de la gravedad tienden a caer, el roza-



miento y las corrientes ascendentes hacen que permanezcan suspendidas a un nivel más o menos constante.

Las razones por las que el aire asciende dando lugar a las condiciones necesarias para la formación de una nube son diversas, entre ellas, un excesivo calentamiento del suelo, el encuentro del aire con un obstáculo orográfico o el deslizamiento —unas sobre otras— de masas de aire de distinta densidad. La intensidad del ascenso y las peculiaridades de la masa hacen que la formación de nubes se vea seguida de fenómenos de precipitación o, por el contrario, que después de un cierto tiempo, más o menos largo, las nubes vuelvan a desaparecer de la misma manera que se habían formado.

Existen dos grupos básicos de nubes atendiendo a la forma en que se efectúa el ascenso: *estratiformes* y *de desarrollo vertical*. Una masa de aire estable que se vea obligada a elevarse suavemente a lo largo de una superficie inclinada produce nubes del primer grupo, mientras que una masa de aire inestable y fuertes corrientes convectivas de calentamiento originan las nubes encuadradas dentro del segundo grupo.

Tipos de nubes El primer intento de clasificación de nubes lo realizó un farmacéutico inglés, Luke Howard, en 1803. Este, utilizando nombres latinos para describir sus principales caracteríticas, dividió las nubes en tres clases fundamentales: cirros (del latín *cirrus*, "rizo"), estratos (de *stratus*, "extendido") y cúmulos (de *cumulus*, "aglomeración" o "montón").

Los *cirros* son nubes de aspecto filamentoso que aparecen a alturas superiores a 6.000 m y pueden alcanzar hasta los 13.000 metros. Debido a su frío entorno están formadas por cristales de hielo, lo que les confiere un aspecto difuso, apareciendo en el cielo como tenues trazos blancos. Uno de sus extremos está curvado en forma de gancho con una orientación —generalmente oeste-este— relacionada con el viento a esos niveles.

Los *estratos* se presentan en capas grises con bordes indefinidos que cubren uniformemente el cielo. Se suelen formar por ascensión orográfica o por el suave deslizamiento de aire cálido y húmedo sobre aire frío y seco y, en consecuencia, son nubes bajas.

Los *cúmulos* son algodonosos, blancos y densos, con una evolución marcadamente vertical, de bases planas y paralelas al suelo con una tonalidad oscura que contrasta con sus bordes superiores brillantes y redondeados, que recuerdan la forma de una coliflor. Con frecuencia se presentan en grupos y es posible observar sus majestuosos desarrollos.

La labor de Howard constituyó la base de un sistema internacional de clasificación que fue publicado en el *Atlas Inter-*













M. Gil

Los pequeños *cúmulos humilis,* o cúmulos de "buen tiempo" (1), pueden desarrollarse en situaciones de fuerte calentamiento del suelo y moderada inestabilidad aumentando su tamaño (2) y creciendo en volumen para formar el *cúmulo congestus,* o en altura hasta alcanzar el aspecto de una alta montaña con contrafuertes en escalera, denominándose en este caso *cúmulo castellanus* (2, 3). En un último estadio aparece en su cima el aspecto de yunque, que indica la divergencia de las fuertes corrientes ascendentes del interior de la nube (4). Alcanzando este punto, con seguridad se están produciendo fuertes precipitaciones en su base, acompañadas de gran aparato eléctrico. En la figura inferior derecha (5) se muestra un potente cumulonimbo aislado, con un gran desarrollo vertical, fotografiado en la región del Yucatán, en el Caribe (México). Nubes de tan extraordinarias dimensiones requieren un gran calentamiento de la superficie y una elevada humedad ambiental por lo que sólo excepcionalmente se producen en latitudes templadas. Arriba se representa esquemáticamente la secuencia de la vida de un cúmulo hasta alcanzar el grado de nube de tormenta.



Las nubes requieren, para su formación, la existencia de aire húmedo que se desplace de forma ascendente. Las causas que originan ese ascenso condicionan el tipo de nube resultante. Un excesivo calentamiento del suelo, la elevación forzada por un obstáculo orográfico, o la inestabilidad atmosférica creada en las zonas donde concurren masas de aire de distinta temperatura producen nubes de muy distintas formas. No es extraño que varias de las causas mencionadas concurran simultáneamente en el tiempo y en el espacio. En la foto, tomada en México en una situación meteorológica de inestabilidad, se aprecian formaciones nubosas de distintos tipos coexistiendo a diferentes niveles. Entre ellos se encuentran cumulonimbos, altocúmulos, altoestratos, cúmulos y estratos.

nacional de Nubes en 1896. Los progresos de la aviación y los avances de la Meteorología condujeron a ulteriores descubrimientos sobre la formación de las nubes y sus conexiones con la predicción del tiempo. La más reciente edición del Atlas Internacional de Nubes data de 1956 y fue publicada por la Organización Meteorológica Mundial. Teniendo en cuenta la altura de las nubes sobre el suelo, su forma externa, su estructura interna y su disposición en el cielo, divide las formaciones nubosas en diez géneros principales: estratos, estratocúmulos, nimboestratos, altocúmulos, altoestratos, cirrocúmulos, cirroestratos, cirros, cúmulos y cumulonimbos. Los tres primeros tipos corresponden a nubes bajas, cuyas bases se sitúan por debajo de los 2 km; los dos siguientes son nubes de altura media con su base entre 2 y 6 km. Las nubes cirrosas son altas y su base se situa por encima de los 6 km. Por fin, las nubes cumuliformes son de fuerte desarrollo vertical, especialmente los cumulonimbos, que junto con los nimboestratos son los responsables de la mayor parte de las precipitaciones.

Los *cirroestratos* (Cs) están compuestos casi en su totalidad por cristales de hielo. Con frecuencia forman un tenue velo que se extiende cubriendo el cielo y que anuncia la proximidad de un frente cálido. Debido a la refracción de la luz sobre los cristales de hielo, pueden formar un halo característico alrededor del Sol o de la Luna.

Los *cirrocúmulos* (Cc) están constituidos por pequeños trazos blancos que se presentan tan estrechamente unidos que a veces adquieren el aspecto de trama continua. Son nubes tan sutiles que apenas producen sombras cuando el Sol está detrás de ellas.

Los *altoestratos* (As) son de color gris. Se forman durante el ascenso de una masa de aire de gran extensión y con frecuencia se presentan en varios niveles. Aunque constituyen capas espesas, el Sol se distingue levemente a su través. Si su aparición es precedida de cirroestratos, su posterior evolución los transforma en nimboestratos, con gran probabilidad de producir precipitaciones continuadas y persistentes.

Los *altocúmulos* (Ac) tienen forma muy variable y, aunque parecidos a los cirrocúmulos, son nubes más bajas. Si presen-







M. Gil

A la izquierda, tres ejemplos clásicos de nube orográfica —formada por elevación forzada de la brisa marina. El aire cargado de humedad se eleva, formando sobre la cima de la montaña una nube en forma de "sombrero", que desaparecerá al atardecer con el cambio de brisa que comienza a soplar de la tierra al mar. Las nubes orográficas se forman cuando una masa de aire que se desplaza en sentido horizontal y con un cierto grado de humedad es obligada a elevarse sobre la ladera de una montaña. En su ascenso el aire se enfría y se condensa, formándose nubes en los alrededores de las cimas. El tamaño del obstáculo montañoso condiciona la importancia de este fenómeno sobre la climatología de su entorno.

tan protuberancias verticales como las almenas de un castillo, originadas por fuertes corrientes ascendentes, reciben el nombre de "castellanus" y casi siempre indican la proximidad de una tormenta. También se encuadran dentro de este tipo las nubes *lenticulares*, conocidas así por el aspecto de lenteja que presentan. Se forman a sotavento de las cadenas montañosas cuando el viento en altura es muy fuerte y perpendicular a la dirección de la cadena.

Los *nimboestratos* (Nb) son nubes de lluvia, bajas y densas, sin contorno preciso. Suelen venir precedidas de fragmentos de cirros arrastrados por el viento y que se denominan "correos" porque advierten de la inminente llegada de las precipitaciones.

Los *cumulonimbos* (Cb) son grandes masas nubosas, de extraordinario desarrollo vertical, lo que las convierte en nubes de chubascos, tormentas y granizo. Se identifican fácilmente por su aspecto de gran torre y por su cima en forma de yunque. A su alrededor y en la parte superior suele formarse una nube de hielo parecida a un cirro, por lo que se conoce como "falso cirro". Para que el desarrollo de una nube de este tipo alcance su fase adulta, o de precipitación, se requiere un fuerte calentamiento del suelo, por lo que en las latitudes templadas aparecen generalmente en los meses de verano.

La observación de las nubes y de su evolución puede proporcionar al meteorólogo tanta información para la predicción del tiempo como la lectura de sus instrumentos de medida. La identificación de una masa nubosa principal y de las nubes que lleva asociadas facilita un detallado análisis de la masa de aire que se aproxima y de la probabilidad de que precipite en forma de lluvia, nieve o granizo. En la actualidad, radares especialmente diseñados exploran el interior de las nubes de tormenta, midiendo la intensidad de sus movimientos convectivos, el tamaño de sus gotas y la cantidad total de agua líquida que transportan, lo que permite disponer de forma casi instantánea de una valiosa información o advertir con antelación del comienzo de lluvias torrenciales.

Véase **Agua, ciclo del; Clima; Lluvia; Niebla; Nieve**

Núcleo atómico

El descubrimiento del núcleo del átomo en 1911 pasó bastante inadvertido y no causó una reacción inmediata en el mundo científico. La cuestión de la estructura del átomo parecía abstracta y remota, casi tanto como averiguar si existía vida en Marte.

Más tarde, sin embargo, los científicos empezaron a darse cuenta del revolucionario carácter de dicho descubrimiento. Toda la energía liberada por el Sol y las estrellas en cada instante de su "vida" procede de la energía nuclear, la misma energía contenida en el núcleo del átomo. En la Tierra, en los procesos naturales, la energía nuclear es liberada en forma de radiactividad. Estudios posteriores de las partículas elementales que contiene el núcleo de un átomo, y el análisis de las fuerzas que mantienen unidas esas partículas, han posibilitado el aprovechamiento de esta energía: con fines pacíficos en las plantas de energía nuclear y con fines destructivos en las bombas atómicas.

El descubrimiento del núcleo A principios del siglo XIX, el químico inglés John Dalton, repasando una antigua teoría griega, sugirió que la materia no era infinitamente divisible sino que estaba compuesta por partes diminutas e individuales llamadas *átomos* ("átomo" deriva del griego y significa precisamente "indivisible"). Sin embargo, antes de finales de siglo resultó evidente que el átomo no era en absoluto indivisible y que contenía al menos un tipo de partícula más pequeña, el *electrón*. El modo en que los electrones se combinan en el átomo y los otros tipos de sustancias presentes en el mismo permanecía aún poco claro. Algunos científicos consideraban que probablemente los electrones se encontraban diseminados en una masa de sustancia cargada positivamente, como las pasas en un pastel. Se pensaba que la carga positiva de la sustancia era equilibrada por las cargas negativas del electrón, lo cual explicaba la neutralidad de los átomos.

En 1911, el físico inglés Ernest Rutherford intentó profundizar en los conocimientos sobre la estructura del átomo, utilizando una forma de radiactividad llamada *radiación alfa*. Aunque la naturaleza de la radiación alfa no era aún completamente conocida, se sabía que era una forma de radiación compuesta por partículas emitidas por los átomos de determinados elementos. En el estudio de la estructura del átomo, Rutherford tuvo una idea genial: dirigió un haz de partículas alfa hacia una delgada lámina de metal, con la intención de estudiar el fenómeno que iba a producirse. El procedimiento era similar al corte transversal de un pastel para ver lo que tiene dentro. El físico descubrió que casi todas las partículas pasaban a través de la lámina: algunas sufrían una leve desviación, mientras que para un cierto número de ellas el ángulo de desviación era mayor, alcanzando incluso los 180 grados. Rutherford se sorprendió al observar que una pequeña cantidad de partículas rebo-

Un modelo simple que sirve para explicar las propiedades elementales del núcleo atómico es el de gota. El núcleo se considera como una gota formada por protones y neutrones (nucleones), que se enlazan entre sí como las moléculas de un líquido. La primera propiedad del núcleo que se puede deducir a partir del modelo es la masa. Para ello se multiplica A, que es el número de nucleones o "número de masa", por la masa media de los neutrones (1). Como los protones pesan menos, es necesario restar un término proporcional al número de protones presentes en el núcleo (2). Por lo tanto, se tiene: M = 0,99395 A − → − 0,00084 Z, donde Z es el número de protones. En el interior del núcleo, los nucleones son atraídos por todos sus vecinos en todas las direcciones (3). Al "ligarse" liberan la energía de enlace y, como consecuencia, son más ligeros que en estado libre, lo que habrá de ser tenido en cuenta. Por otra parte, los nucleones más superficiales están menos enlazados y por tanto son más pesados, lo que dará lugar a una nueva corrección proporcional a la superficie del núcleo.

3

corrección debida a la energía de enlace y al efecto de superficie

corrección para los neutrones desemparejados

corrección para las parejas *n-p*

2

corrección debida a la menor masa de los protones

1

nucleones considerados de igual masa (la masa media de los neutrones)

taba en la lámina de metal, volviendo atrás exactamente en la misma dirección de procedencia. En relación con esto, Rutherford escribió: "Ha sido el acontecimiento más increíble de los que he presenciado en toda mi vida. Ha sido como disparar un proyectil de 381 mm (un gran calibre de artillería naval) contra un trozo de papel de seda y verlo rebotar alcanzándome."

Debido a este experimento era necesario desarrollar un modelo completamente nuevo del átomo. El átomo, evidentemente, contenía un "corazón" central, de dimensiones extremadamente reducidas si se comparaba con el resto del propio átomo. En el interior de este "corazón", o núcleo, se encontraban todas las cargas positivas del átomo.

Mediante las energías de radiación alfa, Rutherford fue capaz de calcular la masa y la dimensión del núcleo, qué porcentaje de partículas sufría variaciones y el ángulo de desviación. Descubrió que el núcleo tenía un volumen comprendido entre la diezmilésima y la cienmilésima parte del volumen total del átomo y que contenía casi toda la masa. En resumen, el átomo era mucho más parecido al Sistema Solar en miniatura que a un pastel de pasas. Los electrones, como los planetas, parecen girar alrededor de un núcleo masivo (el equivalente del Sol), que contiene casi toda la masa del átomo aunque ocupe una fracción de espacio muy reducida. Si el átomo fuese aumentado y llevado a las dimensiones de una casa, el núcleo no sería más que la cabeza de un alfiler en el centro. Más tarde se descubrió que el núcleo estaba compuesto de partículas llamadas *protones* y *neutrones* (colectivamente conocidas como *nucleones*). La densidad de un núcleo medio ha sido calculada alrededor de los 10^{15} g por centímetro cúbico (aproximadamente mil millones de millones de veces más denso que la materia ordinaria).

Un litro de núcleos pesaría aproximadamente 10^{12} toneladas. Sustancias de tal densidad no existen en la Tierra o en nuestro Sistema Solar, pero parecen existir en las *estrellas de neutrones*, cuya sustancia ha sido comprimida por enormes fuerzas gravitatorias. Dichas estrellas serían muy parecidas a núcleos gigantes. Si



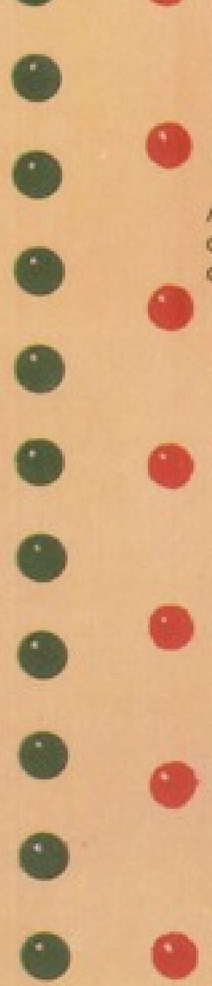


En la página anterior, a la derecha, se ve que, en el núcleo, hay más neutrones que protones. Existe, por lo tanto, un cierto número de parejas protón-neutrón que se encuentran enlazadas con una particular estabilidad y fuerza, y también neutrones desemparejados (los sobrantes). Estos se encuentran menos atados, lo que lleva a un exceso de masa que debe ser tenido en cuenta. Supongamos que componemos un núcleo añadiendo progresivamente nucleones, en particular protones; éstos se repelerán y será necesario realizar un trabajo contra la fuerza de repulsión. Este trabajo es tanto mayor cuanto mayor es el número de protones, aunque si son muchos, el núcleo es más grande y cada protón estará más lejos de los otros que en un núcleo pequeño. Por lo tanto, es necesario añadir un nuevo término que tenga en cuenta estos dos hechos (arriba). Si se quiere obtener un valor muy preciso de la masa, será necesario considerar otros matices, como la presencia de parejas de nucleones. Esto queda patente de una forma más clara en la tabla que hay aquí abajo, donde se muestra que el número de protones y el de neutrones es par, se tiene un aumento de masa; si es par-impar o impar-par, el aumento es casi nulo, y si es impar se produce un decrecimiento. La fórmula que establece la masa de la gota nuclear es llamada *semiempírica* porque su estructura formal procede de la teoría del modelo de la gota, pero el valor de los coeficientes presentes en la misma debe ser determinado experimentalmente. Dicha fórmula fue introducida por los físicos H. A. Bethe y Von Weiszaecker. El valor proporcionado por está fórmula no es perfecto, porque el modelo no lo es. De hecho, en el interior de la gota nuclear los nucleones se comportan como las moléculas de un líquido sólo en primera aproximación. En realidad, su comportamiento es mucho más complejo; sin embargo, el modelo de la gota es más que suficiente para explicar la fisión.









la masa del Sol fuese comprimida como la de las estrellas de neutrones, su diámetro sería de sólo 10 kilómetros.

La forma del núcleo Si el átomo es por sí mismo pequeño, el núcleo lo es aún más. Sin embargo, a pesar de su reducida dimensión, tanto su forma como su composición, tamaño y calidad han sido ampliamente estudiados gracias a la utilización de aparatos llamados *aceleradores de partículas*. Los físicos intentan a menudo construir modelos mecánicos de fenómenos que no son completamente conocidos. El núcleo, sin embargo, es tan complicado que ningún modelo ha resultado completamente satisfactorio para los fines perseguidos. Los científicos han desarrollado numerosos modelos del núcleo completamente independientes para manifestar los distintos matices del átomo. Algunos de estos modelos son incluso contradictorios entre sí, de manera que una parte de la investigación científica se ocupa exclusivamente del establecimiento de la validez de estos modelos, entre los que se encuentran el modelo de gota de líquido y el modelo de capas.

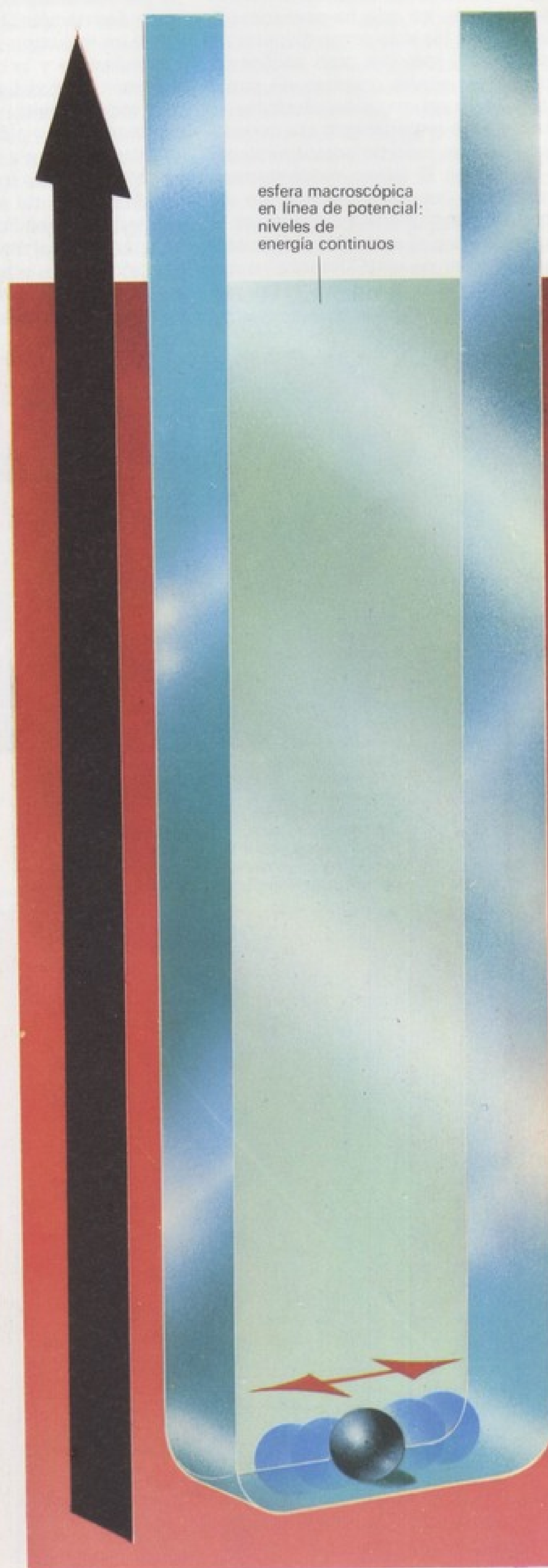
Según el primer modelo, el núcleo puede ser imaginado como una gota de líquido, cuya dimensión depende de la cantidad de nucleones (protones y neutrones) contenida en él. Un núcleo ligero, como el núcleo de helio (con cuatro nucleones), es una gota pequeña; mientras que un núcleo más macizo, como el núcleo de uranio (con más de doscientos nucleones), es una gota mucho mayor. Este modelo explica algunas propiedades del núcleo. Una de ellas consiste en el hecho de que la mayor parte de los núcleos está levemente alargada, ya que gira como una peonza. Otra propiedad es la fisión, proceso por el que el núcleo se rompe en dos fragmentos en el momento de la incorporación de un neutrón: primero toma una variedad de formas, luego se alarga y finalmente se rompe en dos.

Según el modelo de capas, los nucleones no están tan próximos como muestra el modelo de gota. Al contrario, se reúnen en grupos o capas. En el núcleo existen numerosas capas, cada una de las cuales puede contener únicamente un cierto número de nucleones. Existen capas para neutrones y capas para protones; cuando en un núcleo dichas capas están completamente llenas de protones y neutrones, recibe el nombre de *núcleo de capa cerrada*. Un núcleo compuesto de este modo resulta extremadamente estable y generalmente más esférico y resistente (menos sujeto a deformaciones) que otros.

Componentes del núcleo Los protones y los neutrones son las dos partículas principales que han sido encontradas en el núcleo.

El número de protones presente en un núcleo es uno de los datos más importantes para identificar el propio núcleo y se conoce como *número atómico*. La tabla periódica combina los elementos median-

Para penetrar mejor en las propiedades del núcleo atómico es necesario afinar las hipótesis sobre su estructura. La fórmula del modelo de gota que ofrece el valor de la masa del núcleo es incapaz de dar información sobre el estado energético de los nucleones del núcleo. Pero es precisamente el modelo de gota el que sugiere el camino para el paso sucesivo: si los nucleones están confinados en el núcleo como una partícula en una caja, debe de ser posible construir un modelo en el que el núcleo se comporte como un pozo, en el interior del cual se encuentran los nucleones. Una aplicación típica de la Mecánica cuántica, la mecánica microscópica o atómica, es la del estudio de los niveles de energía que puede tomar una partícula confinada en un pozo de potencial. La figura de la derecha muestra esta situación: un pozo con paredes de altura infinita que contiene una esfera. Esta puede oscilar en el fondo, chocando contra las paredes y siendo reflejada (es decir, rebotando). En el caso macroscópico, la esfera puede tomar cualquier valor de energía: grande, pequeño e incluso valores muy próximos entre sí. Por el contrario, en el caso de un electrón (centro), los niveles de energía que puede tomar son infinitos, pero bien separados unos de otros. Una partícula de masa diez veces mayor que la del electrón se comporta como en el caso del tercer pozo: la ley con la que están separados los niveles es la misma, pero los niveles son más cercanos. Finalmente, a la derecha de la página siguiente se ilustran varios casos en los que las paredes del pozo no pueden aprisionar completamente la partícula, pudiendo ésta escapar. De arriba a abajo, dos casos macroscópicos y uno microscópico: hay pocos niveles cercanos entre sí.

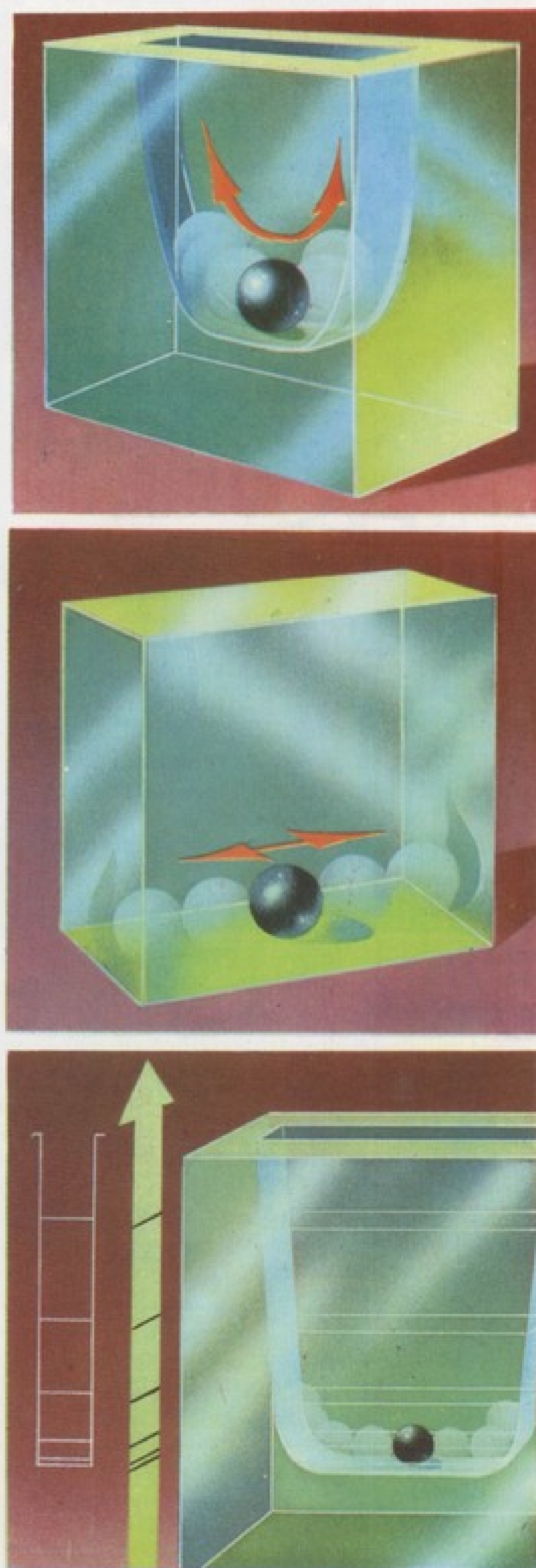


partícula macroscópica
diez veces más pesada
que la anterior:
niveles más cercanos

partícula microscópica
en valle de potencial:
niveles discretos

te el número atómico, empezando por el hidrógeno y terminando por los últimos elementos obtenidos en el laboratorio. El hidrógeno, el elemento más ligero y simple, tiene número atómico 1; el oxígeno, 8; el oro, 79; y el uranio, 92.

El número de neutrones presente en el núcleo de un átomo de un elemento puede variar. El número total de protones y neutrones (es decir, nucleones) en un átomo recibe el nombre de *número de masa del átomo*. Las formas de un elemento con diferente número de masa son conocidas como *isótopos*. A veces un elemento tiene una presencia natural de isótopos comunes; por ejemplo, tres cuartas partes de los átomos de cloro presentes en la Natu-



raleza tienen número de masa 35, mientras que una cuarta parte tiene número de masa 37. Los isótopos son utilizados a menudo en el sector industrial, en Medicina y en Física nuclear.

Fuerzas que operan en el núcleo En el núcleo se han encontrado dos tipos de energía cuyos efectos no son completamente conocidos en la Tierra: la energía "fuerte" y la energía "débil". La primera es la energía más fuerte que se conoce en el Universo, millones de veces más fuerte que la fuerza de la gravedad (la energía más débil que se conoce). La energía fuerte impide a las partículas del núcleo alejarse unas de las otras: tendencia debida a la repulsión originada por las cargas positivas contenidas en ellas. Siempre es la energía fuerte la que mantiene unidas las tres subpartículas de cada protón y neutrón llamadas *quarks*. Pero los efectos de la energía fuerte se reducen al interior del núcleo.

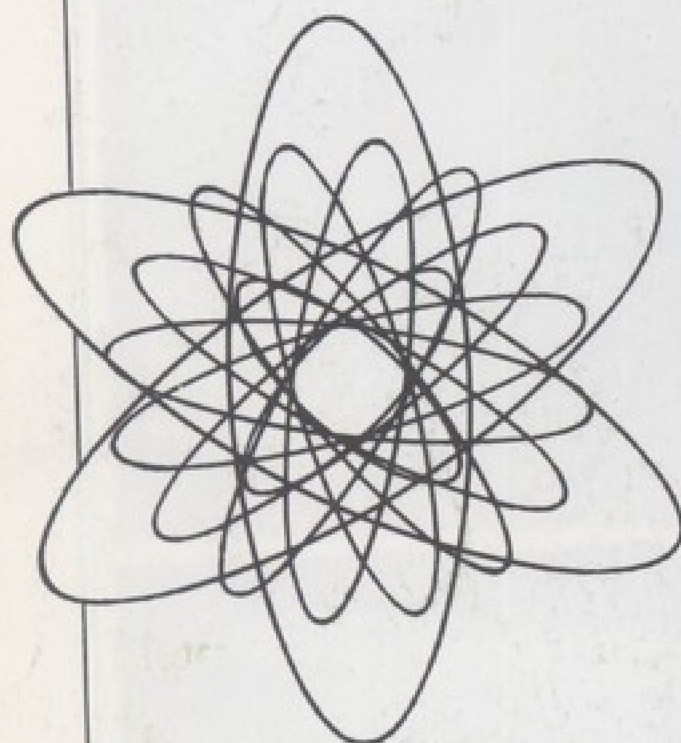
La energía débil tiene una potencialidad menor que la fuerte; sin embargo, es mucho más intensa que la fuerza de la gravedad. Esta energía es responsable de algunos tipos de desintegración radiactiva y de la salida de numerosos tipos de partículas del núcleo.

Radiactividad A veces un núcleo experimenta transformaciones espontáneas y cambia la combinación de los nucleones en su interior. En este proceso, el núcleo emite uno o más tipos de partículas. Dicho fenómeno es conocido como *radiactividad* y el átomo se dice que es *radiactivo*.

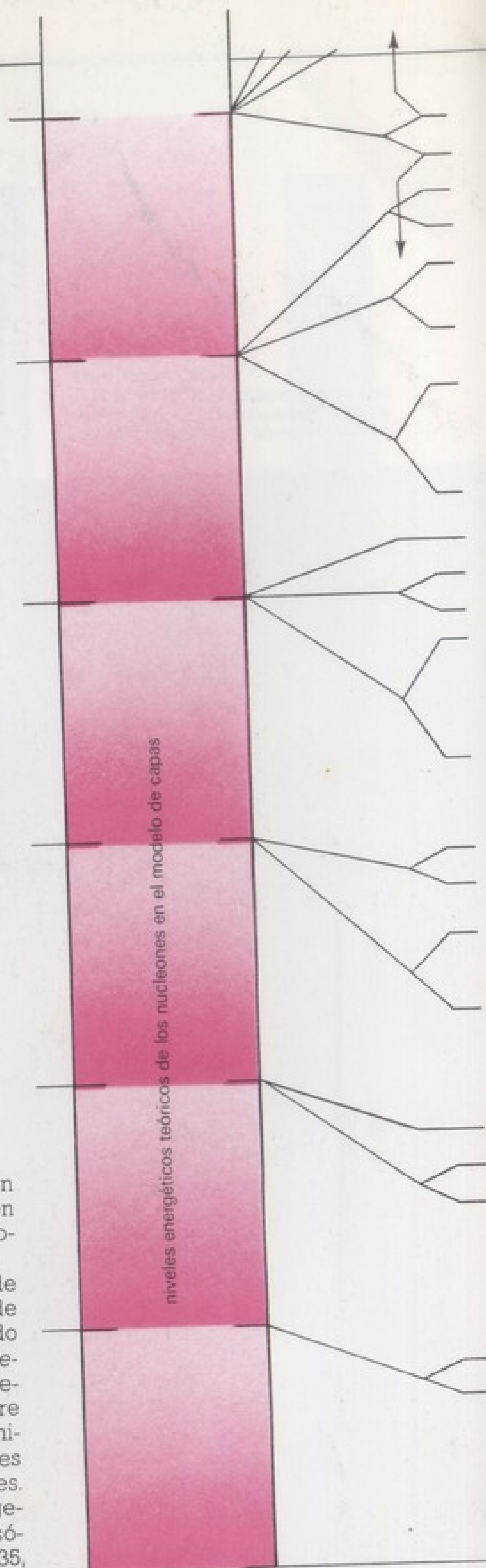
Existen tres tipos principales de radiaciones emitidas por el núcleo: radiaciones alfa, beta y gamma, cuya diversidad depende del tipo de partículas emitidas. De hecho, en la radiación alfa la partícula emitida está compuesta por dos protones y por dos neutrones; en la radiación beta el núcleo expulsa un electrón, mientras que en su interior un neutrón se transforma en un protón; la radiación gamma consiste en la emisión de fotones, partículas luminosas de alta energía.

El tiempo empleado por la mitad de cierto número de átomos radiactivos de un tipo para desintegrarse de este modo se llama *semivida* o *período de semidesintegración*. El período de semidesintegración de un isótopo puede variar entre una fracción de segundo y miles de millones. Algunos núcleos son tan inestables que se dividen en dos partes casi iguales. Este proceso, llamado *fisión nuclear*, genera una gran cantidad de energía. Un isótopo de uranio con número de masa 235, por ejemplo, se divide cuando absorbe un neutrón. El isótopo, a su vez, libera dos o tres neutrones durante el proceso, y esto hace posible una reacción en cadena: la fisión de un grupo de núcleos origina la fisión de muchos otros. La gran cantidad de energía liberada en este proceso puede ser utilizada tanto en los programas energéticos como en las armas nucleares. El proceso inverso, llamado *fusión nuclear*, se tiene cuando dos núcleos de un mismo tipo se unen para formar un núcleo único, también con producción de energía.

Abajo, a la izquierda, el esquema que interpreta eficazmente la estructura atómica, es decir, la disposición de los electrones en un átomo. A la derecha, las formas que un núcleo atómico, supuesto como una gota nuclear, puede tomar debido a las oscilaciones a las que está sometido. Este modelo de átomo es eficaz para la descripción de la disposición y el movimiento de los electrones, porque estos son pequeños en comparación con el átomo y tienen la posibilidad de moverse libremente en el espacio alrededor del núcleo, cosa que no ocurre con los nucleones, que están, como si dijéramos, "codo con codo". Sin embargo, también los nucleones poseen cierta libertad y por lo tanto pueden medirse las energías correspondientes a su movimiento: la Mecánica cuántica ofrece la posibilidad de valorar los niveles energéticos correspondientes a las diferentes hipótesis. En la columna que está justo a la derecha de estas líneas ↓ se representan los niveles en los que puede establecerse un nucleón en un núcleo, en caso de que se considere que los nucleones gozan de cierta libertad para colocarse sobre niveles energéticos o en "capas", como los electrones en el átomo. En color, los niveles de energía posibles para los nucleones. La hipótesis de que los nucleones son libres dentro de la gota como partículas en un pozo proporciona una columna de niveles energéticos como la que puede verse en la página siguiente. Con esta hipótesis no


disposición de los electrones alrededor del núcleo atómico


forma del núcleo estable y oscilante



niveles energéticos reales deducidos de la espectroscopia γ-nuclear

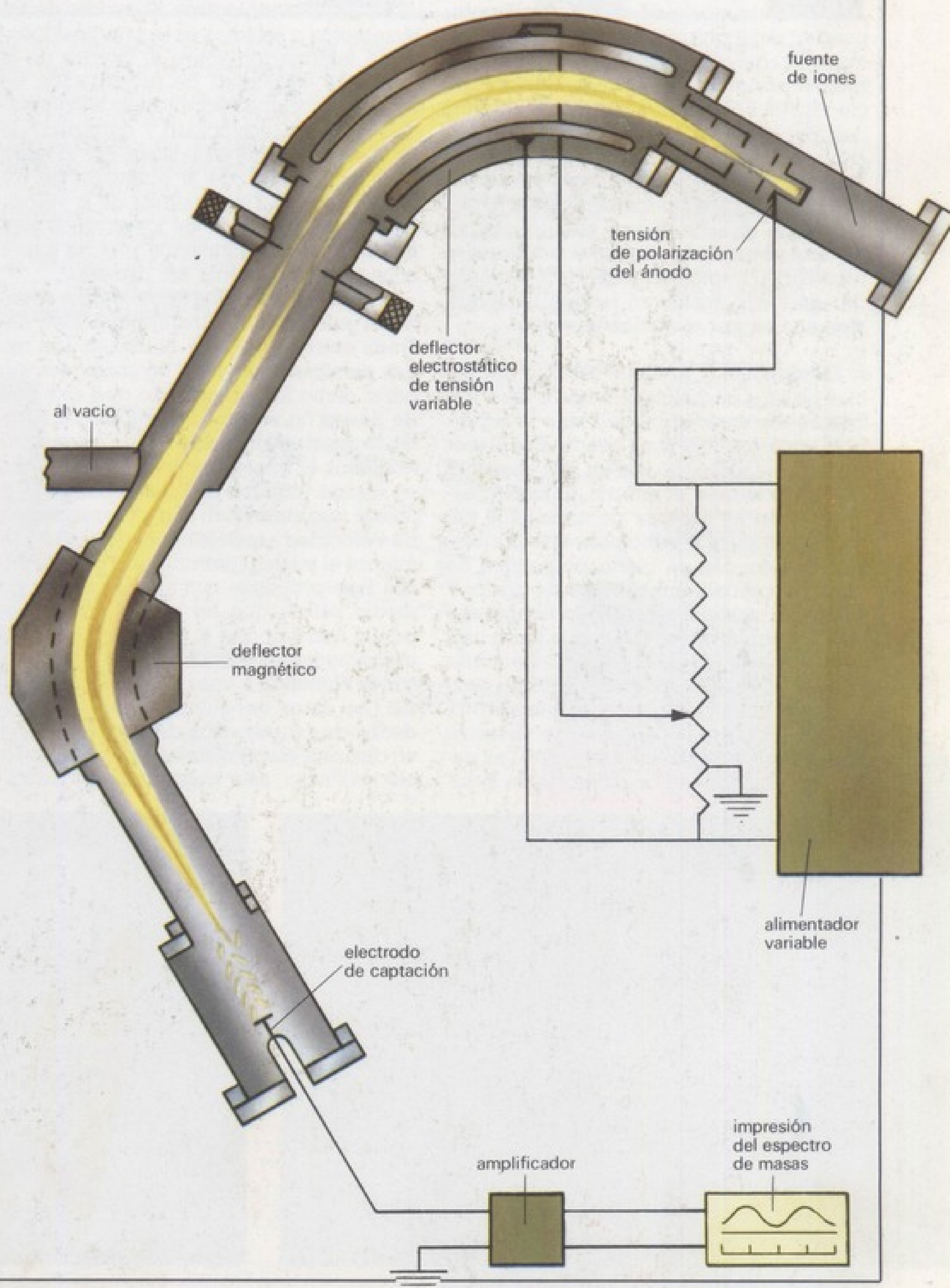
niveles energéticos teóricos de los nucleones en el modelo colectivo

es necesario pensar en los niveles energéticos o en "capas", y se habla de modelo "colectivo", porque los nucleones se encuentran como en una colectividad de iguales derechos. Pero ni el modelo en "capas" ni el tipo "colectivo" permiten estimar exactamente los valores de la energía de los nucleones. Los valores que se pueden medir (por ejemplo, mediante la espectroscopia gamma) se hallan aquí representados mediante las líneas que van hacia el centro, donde confluyen las dos páginas.

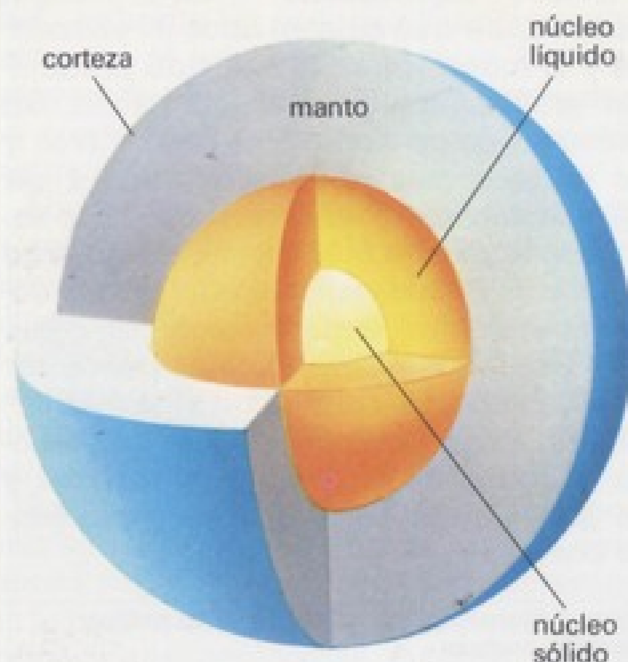
Núcleo "superestable" En la Naturaleza se sabe que existen unos 90 elementos y al menos otros 16 han sido producidos artificialmente en el laboratorio. Sin embargo, estos últimos son radiactivos y los núcleos más pesados tienden a ser más inestables y a tener un período de semidesintegración más corto. Pero muchos científicos consideran que para ciertos números atómicos, llamados *mágicos*, como el 114, el 164 y el 204, el núcleo puede ser relativamente estable, y con vida más larga pueden ser originados nuevos elementos. Ninguno de estos núcleos estables y de gran tamaño ha sido todavía producido con éxito.

Véase **Atomo; Fisión nuclear; Fusión nuclear; Reacción nuclear**

Para medir la masa del núcleo se utiliza el espectrógrafo de masas. La figura bajo estas líneas muestra el principio de funcionamiento de dicho espectrógrafo. Se compone de una fuente de iones. El átomo de cuyo núcleo se quieren estudiar las propiedades se evaporiza, se ioniza (es decir, se le "arrancan" algunos electrones) y se le imprime una aceleración mediante un "cañón iónico". Se produce una deflexión entre dos placas a distinto potencial y finalmente a través de un imán. Variando la tensión de deflexión, al electrodo de captación llegan sucesivamente iones (con núcleos) de distinta masa, y por la diferencia de tensión se puede deducir la diferencia de masa.



Núcleo terrestre



Entre la superficie de la Tierra, sobre la que vivimos, y el centro del planeta, pueden distinguirse tres zonas diferentes que en orden progresivo de profundidad reciben el nombre de *corteza*, *manto* y *núcleo*. Incluso las perforaciones más profundas efectuadas por el hombre distan mucho de alcanzar el límite de la corteza. Tanto el manto como el núcleo permanecen por el momento inaccesibles a la observación directa. Pese a ello, la ciencia moderna ha sabido sortear el problema y resolver, al menos en parte, la naturaleza de estas dos zonas, en particular la que aquí nos ocupa: el núcleo terrestre.

Descripción El límite externo del núcleo se sitúa aproximadamente a unos 200 kilómetros de profundidad bajo la superficie terrestre. Esta zona central del planeta está dividida a su vez en dos partes, el núcleo externo y el interno. El *núcleo externo* tiene un espesor de unos 2.250 km y está compuesto principalmente por hierro fundido, con un cierto porcentaje de níquel y probablemente algo de azufre y silicio en estado elemental. Su temperatura va desde unos 2.200 °C en la parte más externa hasta cerca de 5.000 °C en la más interna. El límite entre núcleo interno y externo se localiza a unos 5.150 km de profundidad a partir de la superficie terrestre. 1.300 km por debajo de este límite (es decir, a unos 6.400 km de distancia de la superficie) se encuentra el centro del núcleo interno, que es también el centro de la Tierra. El núcleo interno está compuesto por hierro y níquel en estado sólido, a una temperatura de unos 5.000 grados centígrados aproximadamente.

Métodos de investigación ¿Cómo puede llegar a saberse tanto de algo tan inaccesible a nuestros sentidos? Los conocimientos que hoy poseemos sobre la estructura y naturaleza del núcleo terrestre son el resultado de deducciones basadas en cuatro fuentes principales de información científica: los estudios sísmicos y el goemagnetismo por un lado y, por otro, las deducciones procedentes de argumentos cosmoquímicos y de consideraciones físicas y geoquímicas extrapolables a estas regiones del planeta.

Estudios sismológicos. El estudio de los terremotos o seísmos es la principal fuente de información sobre el interior de la Tierra. La velocidad de propagación de las ondas sísmicas depende de las propiedades físicas (elasticidad y densidad) de los materiales que atraviesan. Por lo tanto, la determinación de la dirección de los trenes de ondas y la medida de la velocidad de propagación de los mismos permiten obtener información precisa sobre la constitución interna del planeta.

Las investigaciones sismológicas revelan la existencia de una frontera bien definida entre el manto y el núcleo. Las ondas sísmicas llamadas *S* no consiguen superar dicho límite, y puesto que este tipo de ondas no se propaga en medio líquido, la conclusión que se extrae es que por lo menos el núcleo exterior se encuentra en estado fundido. Las ondas llamadas *P*, únicas que atraviesan el núcleo, aumentan de velocidad a la profundidad a la que comienza el núcleo interno. Dado que las ondas P se propagan con mayor rápidez en medio sólido que en medio líquido, se puede concluir que el núcleo interno está probablemente constituido por una masa sólida sometida a una presión muy elevada. Los datos geoquímicos sobre velocidades de propagación de ondas sísmicas en distintos elementos sugieren que el núcleo externo esta constituido probablemente en proporción mayoritaria por hierro y níquel y por pequeñas cantidades de azufre y silicio en estado elemental, mientras que el núcleo interno debe de estar formado verosímilmente por hierro y níquel puros.

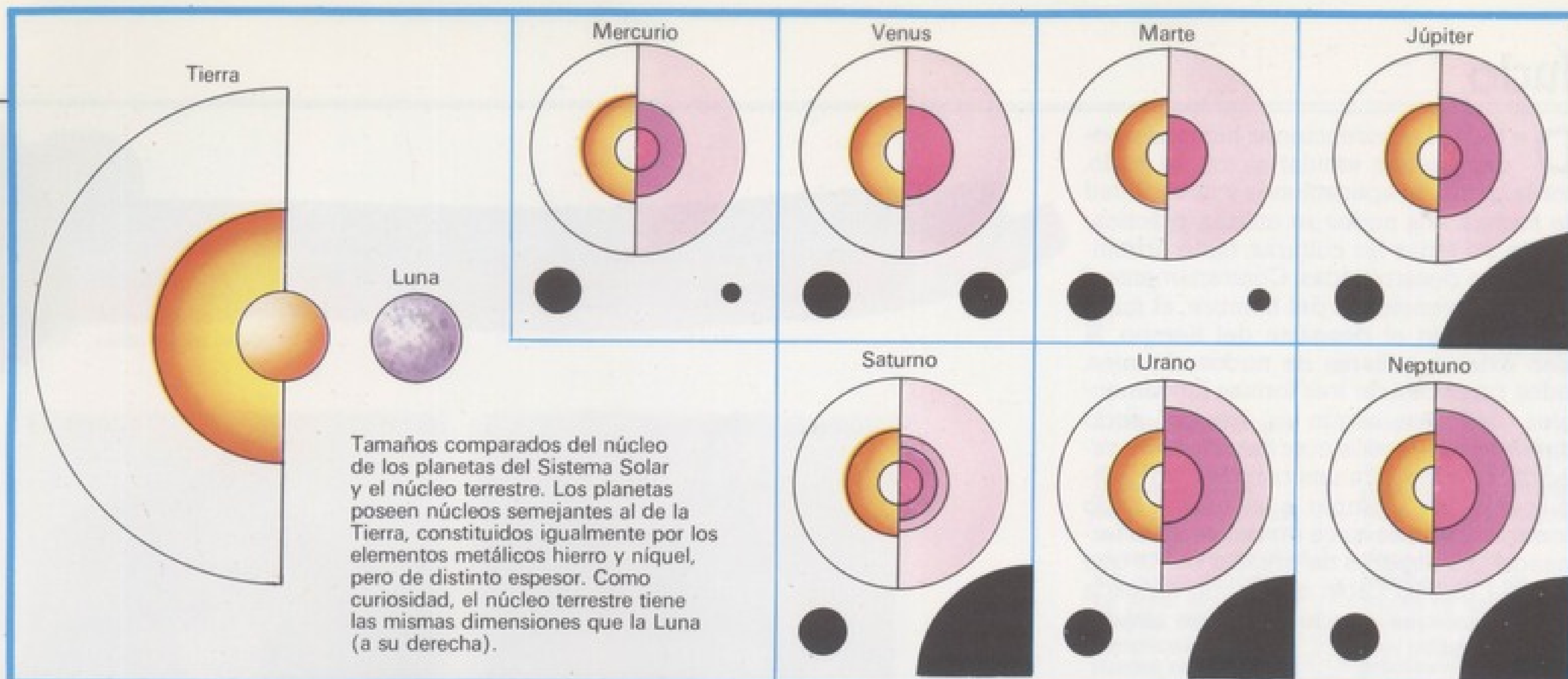
Geomagnetismo. En opinión de los científicos, el campo magnético de la Tierra se origina en el núcleo. La Tierra se comporta como una gigantesca dinamo: el movimiento del fluido de la zona central externa genera las corrientes que crean el campo magnético. Estas corrientes mantienen el fluido en movimiento, perpetuando así el sistema. La teoría de la dinamo requiere que la zona central externa tenga una buena conductibilidad eléctrica, exactamente como la que poseen los metales. Este hecho, junto con la consideración de que el núcleo interno debe tener una gran densidad, confirma una vez más que el elemento fundamental de la zona central debe ser hierro fundido.

Consideraciones cosmoquímicas. Los estudios sobre la composición química del Sol (mediante espectroscopia) y sobre los meteoritos que llegan a nuestro planeta indican que los diversos elementos químicos están presentes en todos los cuerpos del Universo aproximadamente en las mismas proporciones. Esto sirve de base a los científicos para estimar la cantidad de cada elemento que presumiblemente existe en la Tierra. Las proporciones de los distintos elementos que se encuentran formando parte de la corteza son conocidas, dada la accesibilidad de la misma, y por tanto los geólogos pueden deducir la distribución en profundidad de los elementos que faltan evaluando cuáles de ellos y

En esta página, arriba a la izquierda, corte esquemático de la Tierra. El núcleo terrestre es claramente inaccesible. Diversos datos hacen suponer que su composición debe de ser parecida a la de los meteoritos ferrosos, como el "Inca", caído en Chile y del que puede verse (abajo) una sección atacada por el ácido, que ha producido el oscurecimiento de la aleación rica en hierro y ha mantenido en tono más claro la parte rica en níquel, evidenciándose la estructura cristalina del meteorito.







Tamaños comparados del núcleo de los planetas del Sistema Solar y el núcleo terrestre. Los planetas poseen núcleos semejantes al de la Tierra, constituidos igualmente por los elementos metálicos hierro y níquel, pero de distinto espesor. Como curiosidad, el núcleo terrestre tiene las mismas dimensiones que la Luna (a su derecha).

qué combinaciones poseen las propiedades necesarias para coincidir con los datos sismológicos.

Datos físicos y geoquímicos. La presión en el interior de la Tierra aumenta progresivamente a medida que se desciende en profundidad: de ese modo los geólogos pueden estimar con bastante aproximación los niveles de presión en el interior del núcleo. La temperatura de esta zona central se evalúa aproximadamente de acuerdo con los distintos puntos de fusión de los elementos a las diferentes presiones que se van encontrando al descender en profundidad. Se sostiene que la fuente originaria del calor de la Tierra, la que produjo la fusión de su parte más interna, debe de ser la desintegración de las sustancias radiactivas, que posteriormente se desplazaron hacia regiones más extensas del planeta mediante complejos procesos de diferenciación geoquímica.

Véase **Corteza terrestre; Manto terrestre; Sismógrafo; Terremoto; Tierra**

El conocimiento del núcleo terrestre ha mejorado bastante desde que se ha deducido su posible estructura a partir del estudio de la propagación de las ondas sísmicas. Abajo, un corte del interior del planeta hasta el núcleo, en el que se distinguen una parte externa fluida, una zona de transición y una parte interna constituida por material sólido rígido: por la elevada temperatura (más de 4.000 °C), también esta parte tendría que ser líquida, pero las elevadas presiones mantienen el material en estado sólido.
El cuadro del centro muestra algunas propiedades del interior del núcleo terrestre y en particular los datos para el diagrama de variación de la velocidad de las ondas sísmicas, tanto longitudinales (primarias, o "P") como transversales (secundarias, o "S"), en el interior de la Tierra, cuyo análisis permite individualizar una serie de regiones separadas por evidentes discontinuidades concéntricas: corteza, manto y núcleo.

densidad en g/cm³	presión en 10⁶ ATM (=10¹² dinas/cm²)	temperatura en °C	velocidad ondas sísmicas (km/s) "P"	"S"
2,7				
2,9				
3,3	9.000	1.177	5,6	
3,7	140.000		6,5	3,5
4,7	382.000		8,1	3,7
		1.728	8,97	4,7
			11,42	4,96
5,7				6,36
9,7	1.368.000	2.111	13,60	7,30
			8,10	
11,8	3.180.000			
12,0	3.300.000	3.017	10,44	
12 > 15	3.600.000		11,26	
			11,31	

6.371
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
km 0
km/s 6 9 12 15
ondas P
ondas S
100 km
33 60
canal de baja velocidad
manto externo
MOHO
corteza
6 7 8,2
núcleo interno — 6.371
transición — 5.120 — 4.980
núcleo externo
— 2.900
manto interno
transición — 1.000
manto externo — 410
— 33

núcleo
corteza
manto
discontinuidad de Mohorovičić
discontinuidad de Repetti
discontinuidad de Gutenberg
materiales en estado fundido

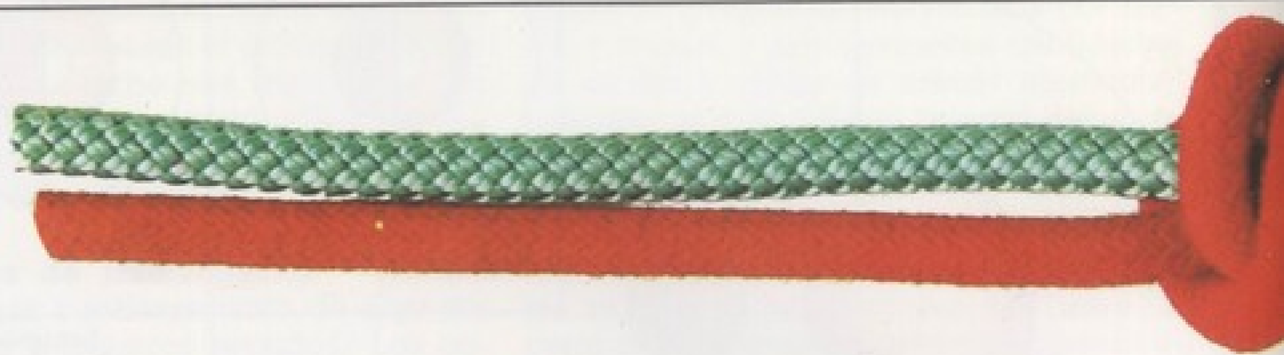
Nudo

De todas las invenciones humanas, pocas pueden emular al simple nudo, por la gama de aplicaciones y la variedad de formas. Los nudos se utilizan prácticamente en todas las culturas, tanto primitivas como desarrolladas. Contrariamente a muchas invenciones del hombre, el nudo no ha sufrido el desgaste del tiempo. Si bien existen millares de nudos distintos, todos proceden de tres formas fundamentales, definidas según su función: *nudo simple*, que une dos cuerdas; *nudo de sujeción*, que asegura una cuerda a un objeto (como, por ejemplo, a un poste); *nudo corredizo*, que se hace en una cuerda formando una especie de presilla por la que se pasa el otro cabo, quedando formada una "anilla" que puede apretarse alrededor de algo.

Origen de los nudos La tecnología de los nudos se desarrolló a la vez que la invención de las cuerdas. Las primeras cuerdas fueron hechas con los sarmientos de la vid y con tiras de la piel de animales, todo ello entretejido o trenzado. El hombre del Neolítico fabricó cuerdas y efectuó nudos simples, mientras que las culturas superiores —incluyendo la de los incas del Perú— utilizaban el nudo simple para hacer redes de pesca. Los incas crearon un sistema decimal basado en nudos hechos en cuerdas suspendidas o *quipus*, dando un significado especial al tipo de nudo y a su posición en las cuerdas: los nudos servían para anotar las fechas, las provisiones, los eventos astronómicos y para realizar cálculos matemáticos. También los indios de América del Norte utilizaban los nudos para recordar las fechas, así como para hacer cordeles con los que capturar ballenas. Las tribus Nootka y Clayoquot, de la isla de Vancouver y del estado de Washington, respectivamente, entretejían pequeños trozos de madera de cedro en una cuerda de tres hebras, formando cuerdas de hasta 365 metros de largo.

Los nombres de los nudos como los conocemos hoy derivan a menudo de leyendas. El nudo *wake* fue originalmente símbolo de un emblema heráldico del clan de Hereward, un jefe sajón que combatió contra Guillermo el Conquistador en 1066. El famoso nudo *gordiano*, que asume el significado de problemas irresolubles, ataba al yugo la lanza del carro de Gordio, el dictador frigio de la antigua Grecia. El Oráculo de Zeus predijo que el hombre que fuese capaz de deshacer ese nudo dominaría Asia. Muchos hombres intentaron desatarlo pero les fue imposible, hasta que un joven e impetuoso muchacho, conocido luego como Alejandro Magno, cortó el nudo con su espada. Y efectivamente: procedió a la conquista del Oriente Medio, llegando en su incursión hasta la India.

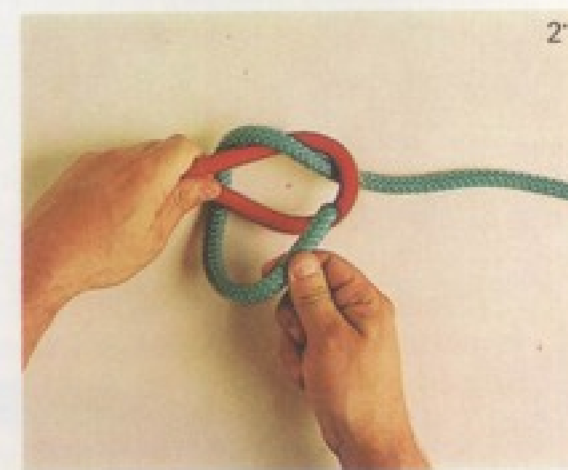
Nudos náuticos La unidad de velocidad utilizada en navegación y conocida como *nudo* equivale a una milla marina (1.852 m) por hora. Es un término náutico originalmente determinado por la veloci-



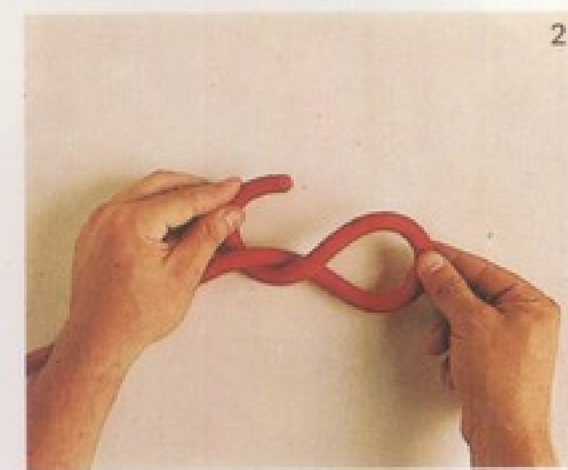


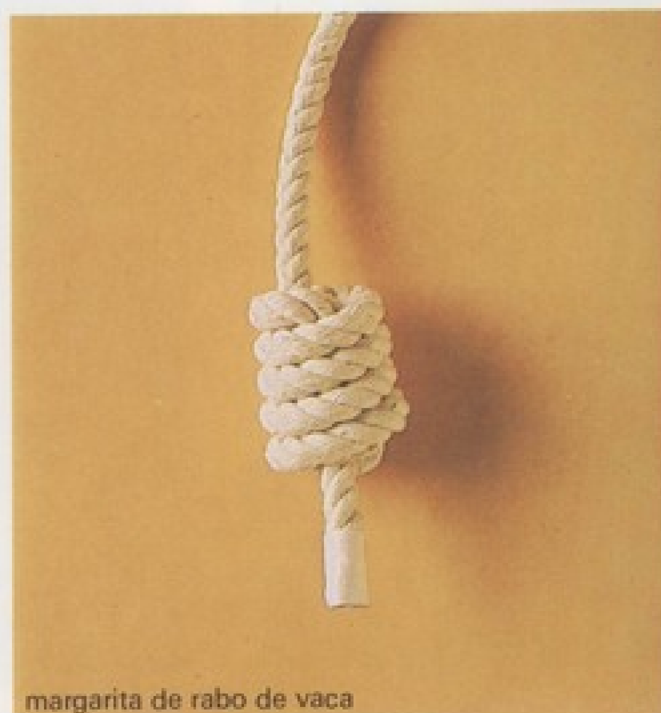


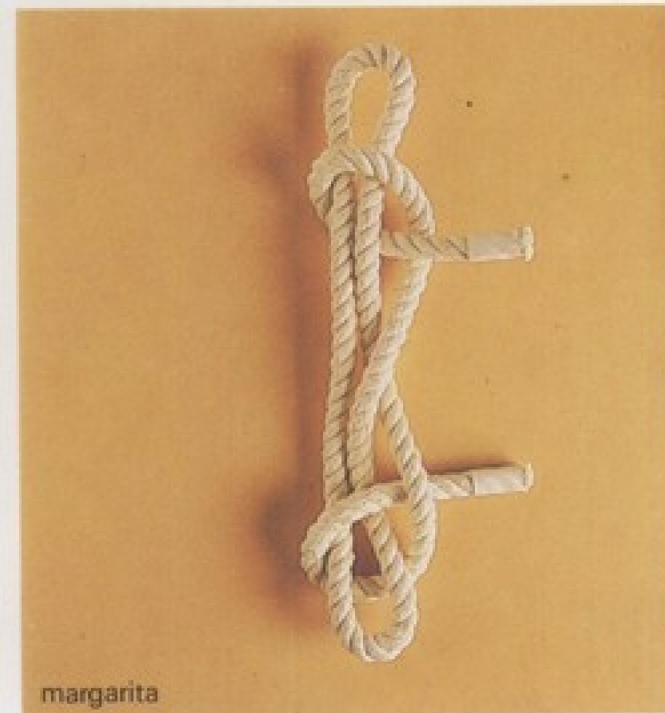


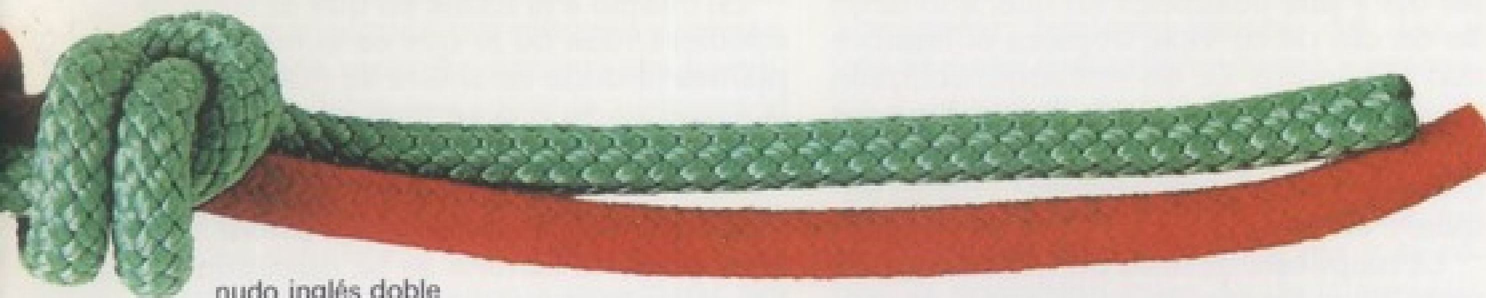







margarita de rabo de vaca


margarita

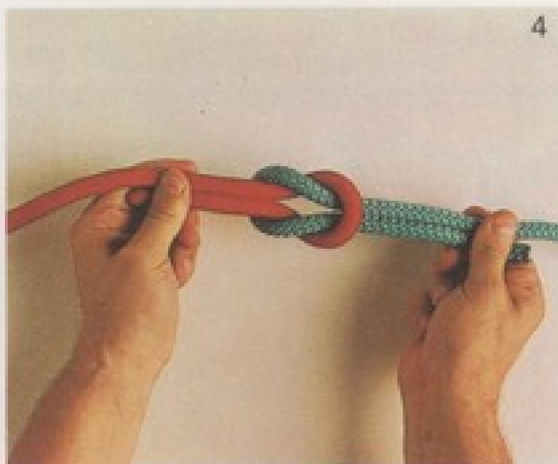

nudo inglés doble





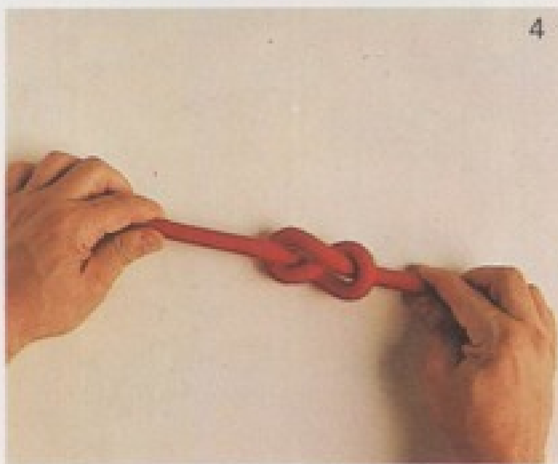
Existen muchos tipos de nudos; algunos autores sitúan su número en cerca de cuatro mil. Como es fácil de suponer, en semejante cantidad hay nudos de todos los tipos: algunos simples, otros complicados, que pueden resolver a veces situaciones de emergencia, en modo más que suficiente, o limitarse a ser simplemente elementos decorativos sin ninguna utilidad práctica. Lógicamente, no podemos recogerlos todos. En estas dos páginas vemos representados los modos de ejecución de tres tipos de nudos muy utilizados en la práctica marinera: as de guía, nudo llano y nudo doble. Abajo, nudos para diferentes usos.



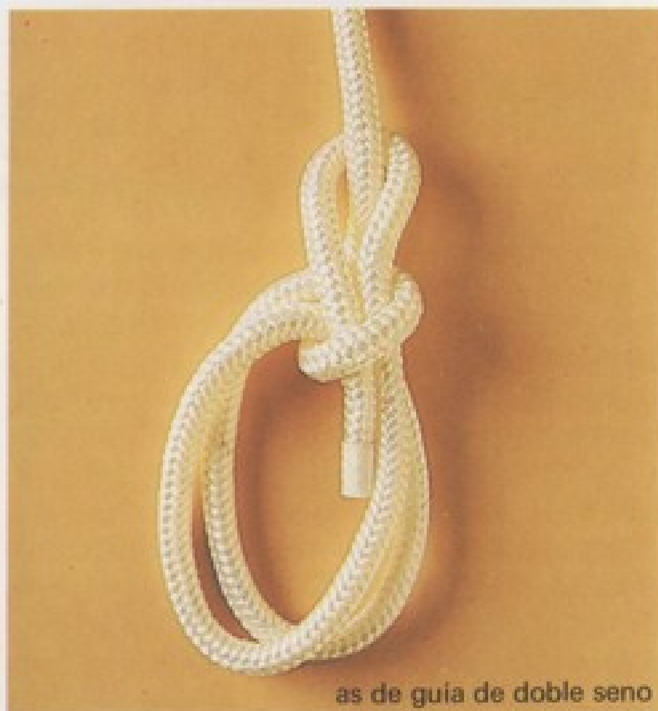


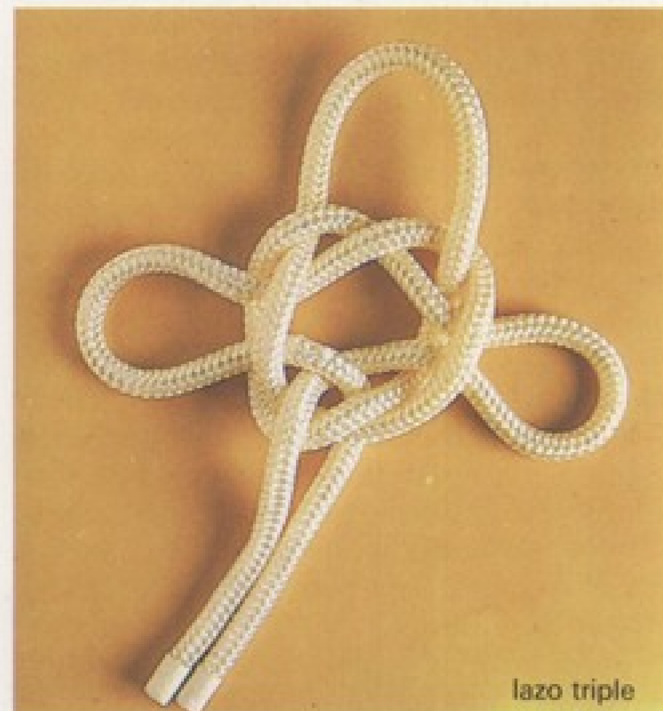
dad con la cual una cuerda con nudos a distancia constante que pasaba por las manos de un marinero era enfilada en la popa y enganchada al flotador. El *macramé*, consistente en anudar una cuerda siguiendo los diseños de un encaje, ha pasado de ser pasatiempo de los marineros solitarios a ser una forma de arte. El nudo ha funcionado incluso como forma supersticiosa de controlar la natalidad. El nombre escandinavo "Knut", que significa *nudo*, era dado al hijo varón más joven si los padres no deseaban otros hijos. Los nudos han estado siempre relacionados con fuerzas sobrenaturales. Los antiguos marineros creían que las hechiceras y los magos tenían el poder de atar el viento en nudos y por esto llevaban cordelillos encantados en sus viajes, disolviendo los nudos cuando el viento arreciaba. Una creencia parecida debió de existir entre los antiguos griegos, como se pone de relieve en el poema épico *La Odisea* de Homero, en el que el dios de los vientos, Eolo, regala al héroe todos los vientos atados en un saco de piel.






margarita de acortamiento de seguridad


as de guía de doble seno


lazo triple

Números

Uno de los conceptos básicos más universal, fecundo y útil de la cultura humana es, sin duda, el de *número*. Son, quizá por ello, múltiples y complejos los enfoques que cabe dar a un estudio sobre el mismo. Sin ninguna pretensión de exahustividad, y sólo para encuadrar las breves consideraciones que siguen, conviene relacionar algunos de los posibles.

a). En primer lugar, podría tomarse el concepto de *número* —o, mejor, de las distintas clases de *números*— tal como los maneja la Matemática actual y desarrollar, a partir de él, diferentes capítulos del *algebra*, la *aritmética* o el *análisis*.

b). En segundo término, cabría adoptar la posición de la metamatemática y examinar los *números* y lo que la matemática dice de ellos para analizarlo desde un punto de vista sintáctico (su consistencia lógica o no contradicción), semántico (sus posibles significaciones) o pragmático (sus usos).

c). En tercera instancia sería posible, abandonando los duros campos del rigor matemático o metamatemático, adoptar otras perspectivas; por ejemplo: la histórica, la antropológica, la psicológica, la filosófica, etc.

Las escasas posibilidades de tiempo y espacio, y las limitaciones de saber, hacen obligado ceñirse a las breves consideraciones que siguen. Primero en torno a la importancia y naturaleza del número, luego sobre cómo lo estudia la Matemática actual.

Números y conocimiento y práctica humanos Antes que nada conviene afirmar que el de *número* es el primero y básico de los conceptos matemáticos. La reciente hipertrofia del *conjuntismo* no debe hacer olvidar que la intuición primaria del *número* está en la base histórica de la aritmética, el algebra y el propio análisis, y de que la sucesión de los *números naturales*:

$$1, 2, 3, \ldots, n, \ldots$$

es y ha sido siempre una fuente inagotable de inspiración matemática.

Cuando, en las sociedades primitivas o en las grandes civilizaciones antiguas, la Matemática era una especie de *protofísica*, sólo ocupada del número, la extensión y la forma, y antes de que los griegos la convirtieran en una ciencia abstracta y racional, los conocimientos numéricos fueron ya muy amplios e importantes y, de hecho, los mismos tuvieron una influencia difícil de exagerar en campos tan diversos como la agricultura, el comercio, la navegación, la construcción, la medida del tiempo o la guerra.

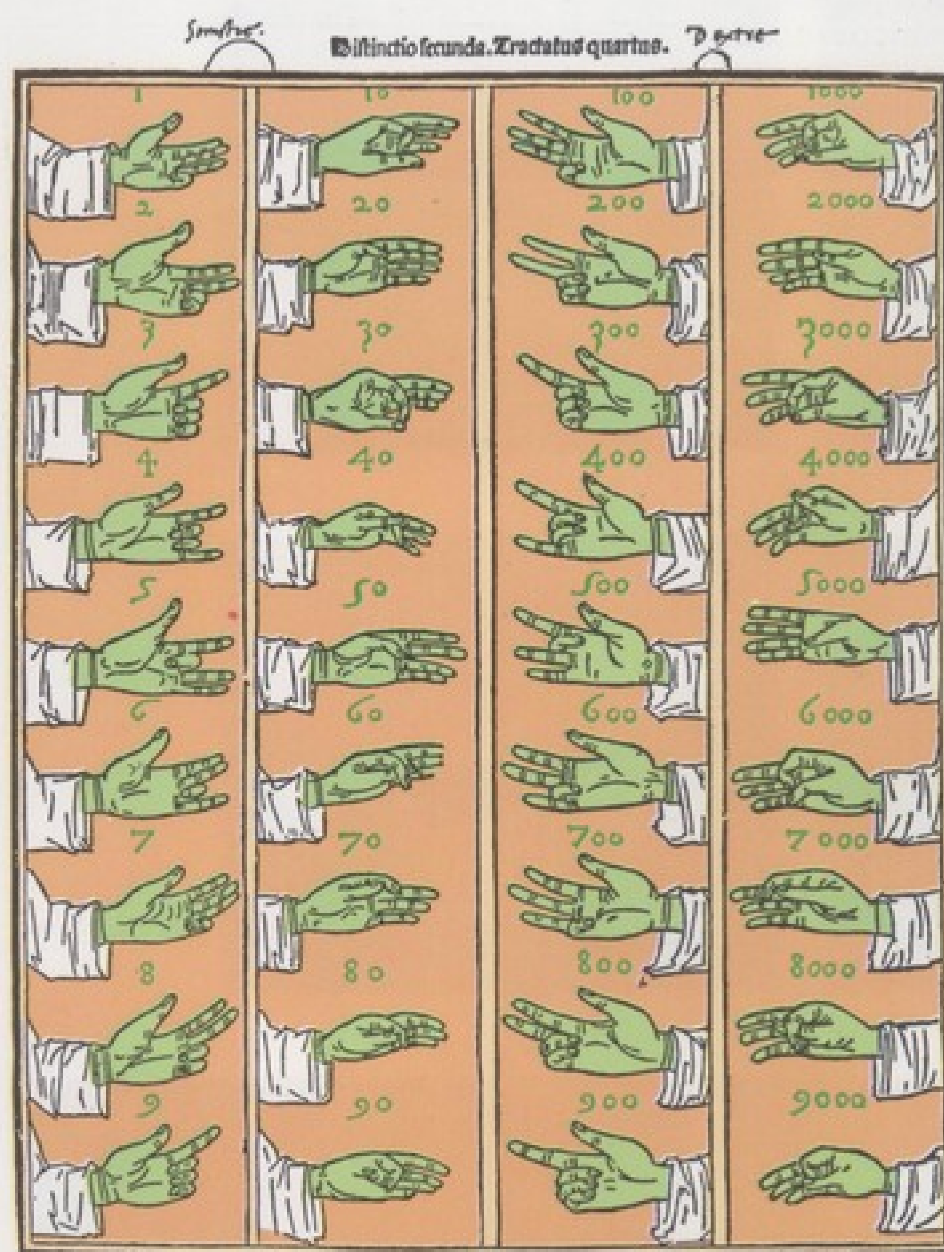
Hoy, aún prescindiendo del hecho indudable de que toda la ciencia, la técnica y la administración modernas descansan sobre la matemática, y de que ésta es ininteligible sin números, es difícil entender la simple vida cotidiana del hombre actual sin el recurso continuo a datos y operaciones numéricos.

Sería muy largo ocuparse, aunque fuese muy esquemática y sintéticamente, de las mil y una ocasiones en que, a lo largo de un día de su vida, tropieza el hombre con el número. Es, sin embargo, obligado plantear, de modo simple, las cuestiones de índole epistemológica y psicológica siguientes: ¿qué es el número? ¿cómo adquiere el hombre su conocimiento?.

La respuesta de tales preguntas ha ocupado buena parte de la reflexión de muchas de las mentes más privilegiadas de la historia. El *número natural* para la matemática actual es un concepto que se establece por una definición axiomática, o que se deriva de la teoría de conjuntos —como *cardinal* o clase de todos los conjuntos equipotentes entre sí— o, más simplemente, que se acepta como un concepto primario intuitivamente evidente. Sobre él se construyen todos los otros conceptos de número —el de *entero*, el de *racional*, etc.— y toda la aritmética, así como buena parte del algebra y el análisis. Pero esa posición no da solución a los problemas en torno al *qué* y al *cómo* antes planteados.

En cuanto a la forma en que el hombre adquiere idea de lo que es el número se plantea la duda de si ésta es resultado de la experiencia o si se trata de algo absolutamente racional.

El concepto de número es ¿a priori? A lo largo de la historia se ha discutido sobre si los conceptos matemáticos —en especial los de la aritmética y la geometría— eran puramente ideales o racionales, sin ningún sustrato empírico, o si, por el contrario, procedían, tras mecanismos psíquicos más o menos complejos de abstracción, de la experiencia. El pitagorismo, para el que el número —natural se entiende— es la raíz y esencia de todas las cosas, o el idealismo de Platón, para el que la realidad es el reflejo de las ideas, son dos posiciones extremas en uno de los sentidos; el empirismo y el materialismo, ontológico o epistemológico, por su parte han defendido durante siglos la postura contraria. Consideración aparte merece la filosofía *kantiana* de la matemática; para



La representación de los números con los dedos tiene unos orígenes remotos. Como se comprende fácilmente, la más sencilla de las posibilidades es la de utilizar un número de dedos idéntico al que se quiere representar. Sin embargo, a lo largo de la historia, se han elaborado otros más sofisticados. Todavía en los albores de la Edad Moderna perduraban estas formas de representación, como la recogida en la *Suma* de Pacioli (Venecia, 1494).

La metamatemática pretende dar cuenta, en su estilo y a su modo, de la aritmética, aunque después del resultado de Gödel tampoco tranquilice demasiado y siga siendo posible pensar que la intuición básica de la sucesión de los naturales (1, 2, 3, ..., *n*, ...) es un punto de partida aceptable para la matemática. A su vez, la filosofía siempre ha dedicado especial atención al tema de los número. De Pitágoras o Platón a Leibniz o Kant las ideas y las discusiones han sido continuas y, la verdad, poco definitivas.

Kant los de *número* y *espacio* son conceptos *a priori*. Simplificando mucho, ello quiere decir que el pensamiento humano tiene a modo de *moldes* previos en los que se plasman sensaciones y percepciones y que dos de esos *moldes* son, precisamente, los de *número* y *espacio*. Visión tan radicalmente *idealista*, conocida como *apriorismo transcendental*, podría, a la luz de la psicología y la etología modernas, revalorizarse en cierto modo: el de admitir que lo que es *a priori* en el individuo puede ser fruto *a posteriori* de la larga

evolución de la especie. En este sentido, y sin tomar partido por ninguna posición, vale la pena recordar, siquiera sea brevemente, los datos que sobre la adquisición de los conceptos numéricos proporcionan la antropología y la etología.

El hombre primitivo, tal como lo entienden los estudiosos de la prehistoria y los antropólogos dedicados a investigar poblaciones actuales, adquiere, en un estadio relativamente temprano de su desarrollo intelectual, un cierto concepto del número; éste parece asociado —inconscientemente, como es lógico— a una especie de capacidad (¿innata?, ¿adquirida?) para establecer *biyecciones* entre conjuntos. El hombre primitivo refleja el número de elementos de un conjunto de animales, hombres o cosas mediante un conjunto de igual número de guijarros, incisiones u otros elementos. Más tarde las técnicas de enumeración y ordenación y el propio lenguaje irán clarificando las cosas; aunque, en un principio, puede que sólo se distinguiesen *uno, dos* y *muchos*. En algunos idiomas antiguos parece, incluso, que los términos numéricos recuerdan ciertas asociaciones primitivas; por ejemplo en sumerio antiguo *uno, dos* y *tres se designaban* con palabras que significaban también *hombre, mujer* y *varios*, respectivamente.

Más tarde la agrupación de unidades, la creación de símbolos, la invención de los sistemas de numeración, el algoritmo decimal, etc. van alejando cada vez más los conceptos numéricos de sus orígenes empíricos.

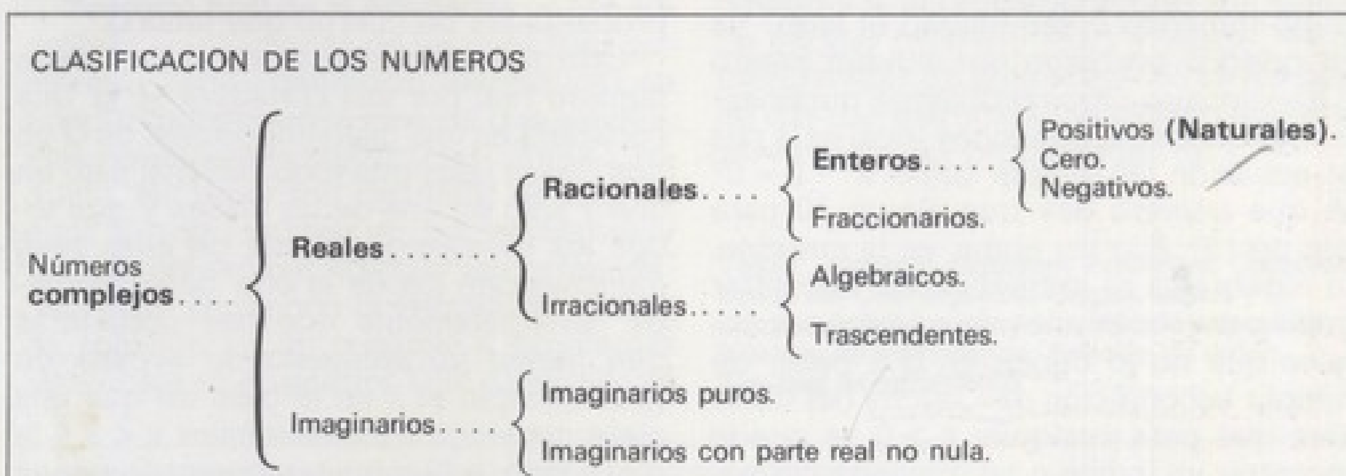
A su vez, los biólogos y etólogos han llegado a la conclusión de que algunos animales tienen una cierta capacidad numérica. Entre éstos parecen estar varias especies de insectos, algunos animales superiores, y, sobre todo, determinadas aves. Otto Koehler ha estudiado especialmente el caso de éstas y ha llegado a concluir que, ciertamente, existe una percepción de lo numérico en algunas especies de ellas, a la vista de los resultados de sus pacientes experimentos.

Resulta, para ilustrar lo anterior, interesante narrar una curiosa historia que, aunque no fuera auténtica, resulta al menos graciosa y que sirve para poner de manifiesto los límites del conocimiento aritmético de la corneja. El dueño de un castillo estaba incómodo porque una corneja había anidado en la torre del mismo. Entonces decidió matarla; pero no le resultó fácil, porque la corneja, astuta, cuando le veía acercarse a la torre volaba a un árbol alejado del alcance del fusil del castellano. Este, más astuto aún, preparó un plan *maquiavélico* —mejor podría decirse *pitagórico* por lo que se verá— para terminar con su indeseado huésped. Un día se acercó a la torre con un vecino, la corneja se alejó y los dos hombres entraron en la torre; tras un rato salió sólo el castellano y la corneja, que *distinguía uno* de *dos*, aguardó pacientemente en el árbol la salida del vecino. Cuando ésta se produjo volvió tranquilamente a la torre. En los dos días siguiente, el dueño del castillo se hizo acompañar, respectivamente, de dos y tres vecinos, que salieron luego a intervalos y de uno en uno; la corneja que *sabía* también distinguir el *tres* y el *cuatro* no volvió a su refugio hasta la salida del último hombre. El cuarto día el castellano fue acompañado de cuatro hombres y se repitió la operación, pero ¡ay de la corneja!, ésta, incapaz de *distinguir cuatro* de *cinco*, cuando hubieron salido cuatro de los visitantes de la torre, volvió a la misma mientras permanecía en ella su *quinto* enemigo, que , naturalmente, dio fin a su hospedaje y vida.

Los conjuntos numéricos de la Matemática actual. El método genético La matemática actual utiliza los siguientes conjuntos de números: el de los naturales, $\mathbb{N}=\{1, 2, ..., n, ...\}$; el de los enteros, $\mathbb{Z}$; el de los racionales, $\mathbb{Q}$; el de los reales, $\mathbb{R}$; y el de los complejos, $\mathbb{C}$. Se tiene que:

$$\mathbb{N}\subset\mathbb{Z}\subset\mathbb{Q}\subset\mathbb{R}\subset\mathbb{C}$$





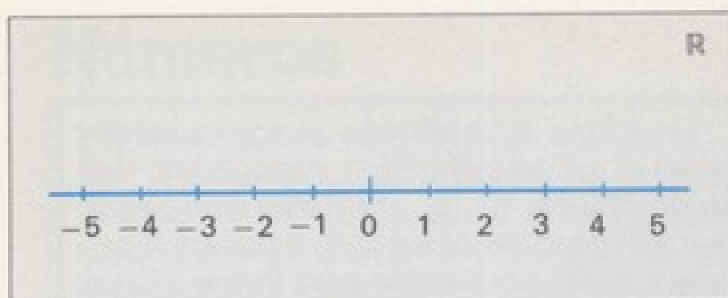
Hay, básicamente, dos procedimientos para establecer claramente los conceptos correspondientes. Uno es el llamado *genético* (que se corresponde, en cierto modo, con el proceso histórico seguido por la matemática). El otro es el *axiomático*. El primero parte de $\mathbb{N}$ —aceptándolo como fruto de una intuición originaria o basándolo en otros conceptos previos— y, por sucesivas ampliaciones, va construyendo los otros conjuntos numéricos. El segundo establece independientemente, mediante una lista de axiomas, los distintos conjuntos (el que plantea mayores problemas es $\mathbb{R}$); en cada caso es necesario probar que el correspondiente conjunto tiene un subconjunto isomorfo con el inmediato inferior (por ejemplo que $\mathbb{R}$ tiene un subconjunto isomorfo de $\mathbb{Q}$).

De forma simplificada puede establecerse el método genético, suponiendo definido $\mathbb{N}=\{1, 2, ..., n, ...$ y dando los pasos (aun sin precisarlos en todo su enorme detalle y rigor) necesarios para llegar a $\mathbb{C}$, en la forma que sigue:

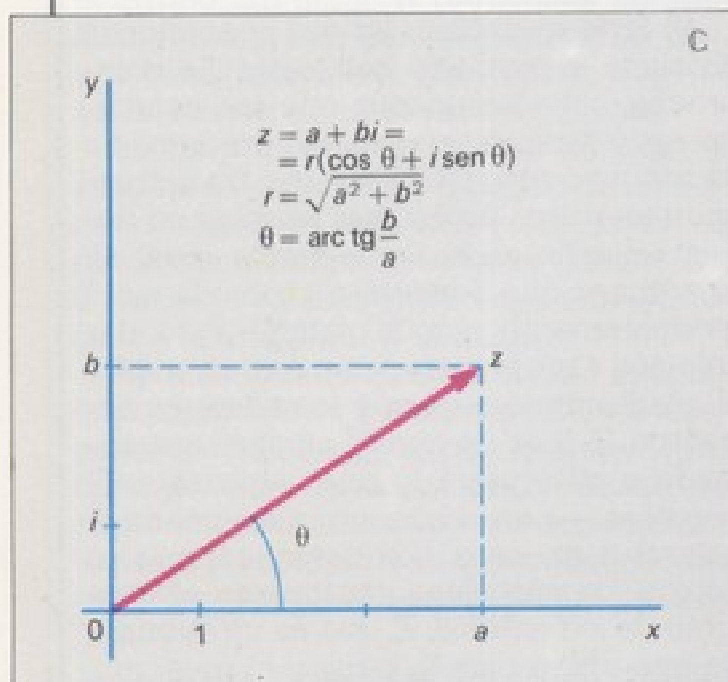
1º. En $\mathbb{N}$ se definen las dos operaciones de suma y producto habituales. Se comprueba, inmediatamente, que son conmutativas y asociativas y que el producto es distributivo respecto a la suma. Sin embargo, numerosos problemas simples no tienen solución en $\mathbb{N}$. Por ejemplo ¿cuál es el número que sumado a cinco da tres? evidentemente ningún natural. Para dar solución a problemas como éste se amplia $\mathbb{N}$, añadiéndole el *cero* y los números *negativos*. El 0 es un nuevo *número* que sumado a cualquiera lo deja invariante. El negativo $-a$ es el número que sumado al natural a da cero. Los naturales, más el cero y los negativos constituyen el conjunto de los enteros, $\mathbb{Z}$, que es un dominio de integridad para la suma y el producto.

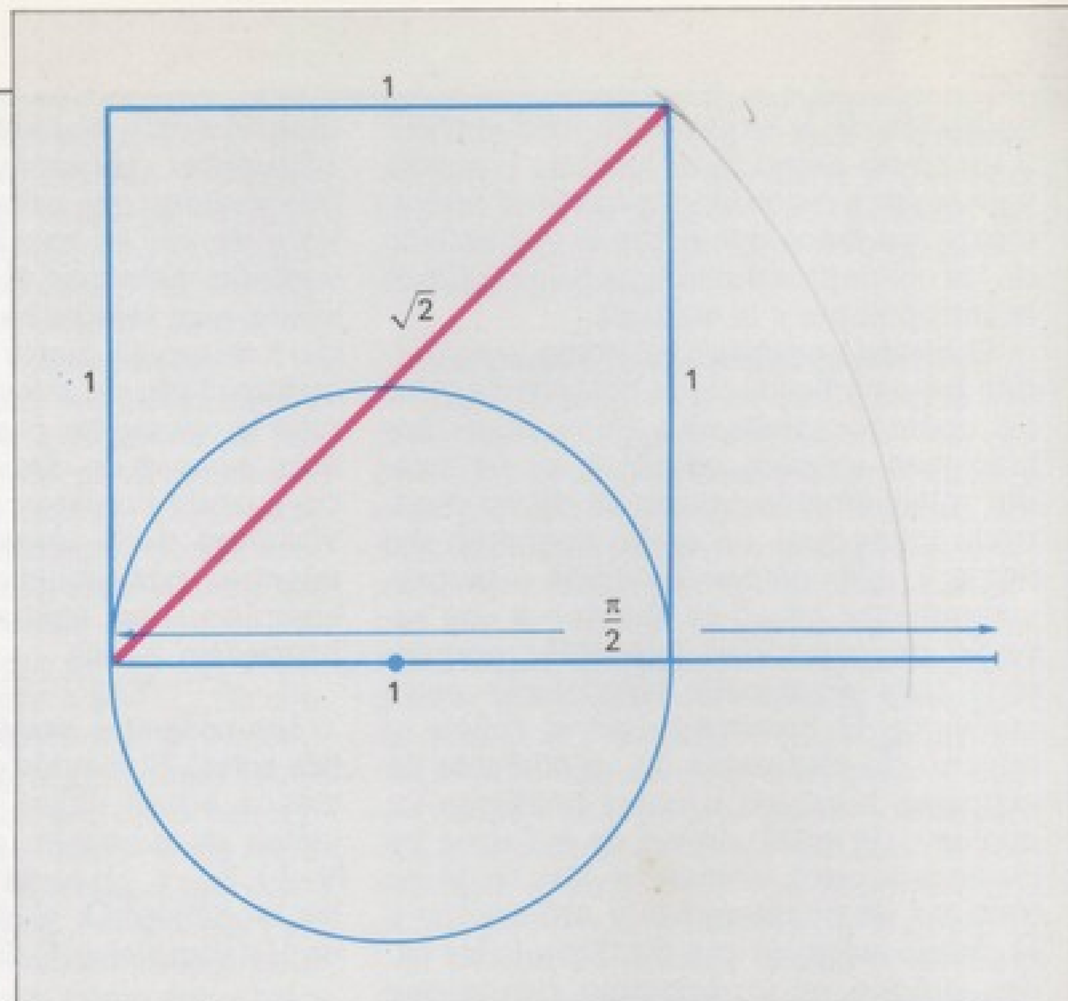
Lo anterior puede hacerse de un modo riguroso, definiendo $\mathbb{Z}$ como el conjunto cociente de $\mathbb{N}\times$ por la equivalencia definida para los pares de naturales como: $(a, b) = (c, d)$ si y sólo si $a+d=b+c$; en particular el 0 como la clase de los equivalentes al par (a, a) y cada natural n como la clase de los equivalentes al par $(n+a, a)$; la clase de los equivalentes a $(a, a+n)$ sirve para definir el elemento $-n$. Además se definen la suma y el producto de enteros de forma que se conserven las propiedades de la suma y producto de los naturales.

2º. En $\mathbb{Z}$ siguen sin poderse efectuar ciertas operaciones; por ejemplo ¿cuál es el número que multiplicado por tres da siete? Evidentemente, ningún entero. Por un procedimiento similar, definiendo los números fraccionarios (lo que en plan ri-



Los matemáticos establecen sendas biyecciones entre ℝ y la recta y ℂ, o, lo que es lo mismo, ℝ × ℝ, y el plano.





El cuadrado de lado unidad tiene de diagonal un segmento de longitud un irracional algebraico, $\sqrt{2}$. Por el contrario, el desarrollo (imposible de conseguir con regla y compás) de la semicircunferencia de diámetro unidad mide el irracional trascendente $\pi/2$.

guroso, puede hacerse introduciendo, como en el caso anterior, la clase equivalente a cada fracción dando ésta por la pareja numerador/denominador), se construye ℚ, lo que supone un gran avance. Para las necesidades de la vida cotidiana los números racionales, que incluyen a los enteros y a los fraccionarios, son suficientes. Por otro lado, ℚ es un cuerpo y en él todos los problemas relativos a las operaciones básicas tienen solución.

3º. Sin embargo hay otros problemas. Algunos ajenos a la aritmética, por ejemplo, de naturaleza geométrica ¿cuál es el número que mide la diagonal de un cuadrado tomando como unidad el lado? ya los griegos probaron que ningún entero ni fraccionario. Otros problemas puramente aritméticos o algebraicos ¿cuál es la raíz de ecuación tan simple como: $x^3 - 2 = 0$? ¿A qué número hay que elevar 10 para que dé 15?. Ello sin entrar en la cuestión, no algebraica ni aritmética, de encontrar límite para sucesiones de números racionales que no lo tienen en ℚ a pesar de cumplir la condición de Cauchy (es decir, tales que para cualquier $\varepsilon > 0$ se puede encontrar un índice n, tal que para cualesquiera $p, q > n$ se tenga $|a_p - a_q| \leq \varepsilon$).

El conjunto ℚ se amplía de nuevo y se obtiene ℝ, conjunto de los números reales. Los número reales pueden ser racionales o irracionales; los irracionales son los que no pueden expresarse como fracciones de enteros. Pueden ser de dos clases, irracionales algebraicos, que son los que son raíces de alguna ecuación algebraica de coeficientes racionales (como $\sqrt{2}$ por ejemplo) y los trascendente que no son raíces de ninguna ecuación algebraica de coeficientes racionales (como π ó e).

Hay dos métodos clásicos para construir ℝ. El más cómodo es el llamado ordinariamente *completar* ℚ. Para ello se forma el conjunto cuyos elementos son las sucesiones de Cauchy en ℚ y se consideran equivalentes dos sucesiones $\{a_n\}$ y $\{b_n\}$ cuando la diferencia en valor absoluto entre sus términos generales, $|a_n - b_n|$, puede hacerse tan pequeña como se quiera, sin más que aumentar el valor del índice n.

Se establece el conjunto cociente, es decir, el que tiene por elementos las clases de equivalencia. Cuando todas las sucesiones de una clase tienen por límite un número racional (el mismo para todas, naturalmente) la clase define éste; en caso contrario se considera que la clase define un elemento irracional. Lógicamente las operaciones de suma y producto con las sucesiones (y las clases que determinan) se hace de modo que se conserven las propiedades de cuerpo que tenía ℚ.

Otro método consiste en definir cada número real por una *cortadura* en ℚ. Una *cortadura* es una descomposición de ℚ en dos clases tales que todo racional esté en una y sólo en una de las clases y que todos los elementos de una de ellas sean menores que los de la otra. Se comprueba inmediatamente que hay cortaduras que tienen un elemento de separación (por ejemplo el 2 en el caso de que una clase contenga a los racionales $x < 2$ y la otra a los $x \geq 2$) y las hay que no lo tienen (por ejemplo si una clase está formada por los racionales negativos, el cero y los positivos cuyo cuadrado es menor que 2 y la otra por los números positivos que tienen cuadrado mayor o igual que 2). Estas últimas definen nuevos elementos: los irracionales.

El método que utiliza las clases equivalentes de sucesiones de Cauchy —y que en la matemática actual se denomina de *complección* de ℚ— se conoce clásicamente como método de Cantor-Heine; el de las cortaduras es creación de Dedekind.

4º. Todavía no se acaban los problemas. Siguen sin tener solución en ℝ problemas, en apariencia tan simples, como hallar la raíz cuadrada de —2 o encontrar todas las raíces de un polinomio. Se hace preciso una nueva ampliación: la del número complejo. Esta es puramente algebraica: se construye ℝ×ℝ y se le dota de estructura de cuerpo definiendo la suma de los pares (a, b) y (c, d) como $(a+c, b+d)$ y el producto por la fórmula

$$(a, b)\,(c, d) = (ac - bd\,,\, ad + bc)$$

Se consideran los números de la forma (a, 0) como reales y los de la forma (0, b) como imaginarios puros. La *unidad real* es entonces (1, 0), que es el elemento unidad para el producto, y la llamada *unidad imaginaria* es (0, 1); con la definición anterior se tiene

$$(0, 1)\,(0, 1) = (-1, 0)$$

que utilizando la notación $(0, 1) = i$ y $(1, 0) = 1$, se escribe: $i^2 = -1$.

En vez de la notación (a, b) se suelen preferir las equivalentes:

$$(a, b) = a + bi = r(\cos\theta + i \operatorname{sen}\theta)$$

$$r = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{y} \quad \theta = \operatorname{arc\,tg}\frac{b}{a}$$

En el caso del conjunto ℂ es posible resolver todos los problemas algebraicos que quedaron pendientes en ℝ.

El conjunto de los naturales y el método axiomático En cuanto a ℕ(que sirve de base para todo el sitema) pueden utilizarse diferentes métodos. Uno, intuitivo y no riguroso, es aceptar la existencia y propiedades del mismo de una forma ingenua y como resultado de una intuición primitiva. Los más rigurosos recurren a establecerlo apoyándose en la Teoría de Conjuntos. Los dos más clásicos son los siguientes:

Definición axiomática de ℕ (Peano) Se tiene un conjunto, que llamaremos ℕ, y tal que sus elementos, llamados *números naturales*, cumplen los siguientes axiomas:

- Ax.1.— 1 es un número natural.
- Ax.2.— Todo número natural tiene un siguiente del que él es el precedente.
- Ax.3.— 1 no tiene precedente.

- Ax.4.— Dos números naturales si tienen el mismo siguiente son iguales.
- Ax.5.— Todo conjunto de números naturales que contenga a 1 y al siguiente de cada uno de sus miembros coincide con ℕ.

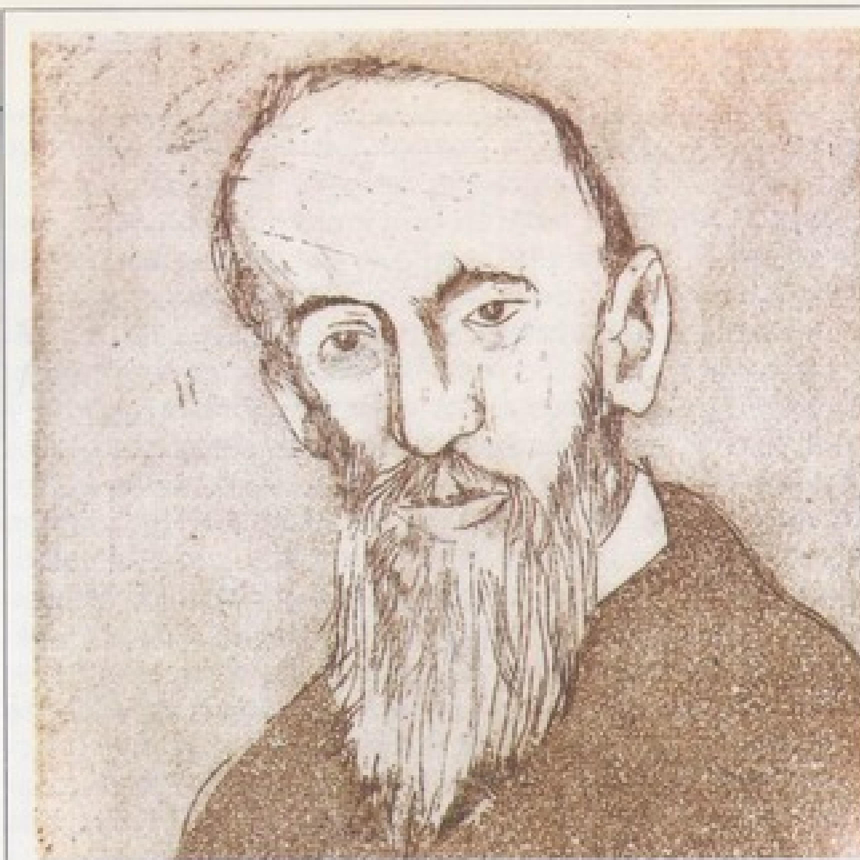
En la anterior definición se dan por supuestos el concepto de igualdad y los de precedente y siguiente (tal como los da la Teoría de Conjuntos ordenados). A veces se llama a la definición de Peano *ordinal* en vez de *axiomática*. Obviamente, la misma sirve tanto para ℕ como para cualquier conjunto isomorfo del mismo. Por otra parte algunos autores llaman ℕ al conjunto $\{0, 1, 2, ..., n, ...\}$; lo que dada la observación anterior no supone ningún problema.

Método del cardinal (Cantor-Frege-Russell) Se dice que dos conjuntos son *equipotentes* (o isomorfos en cuanto conjuntos) cuando puede establecerse una biyección entre ellos. Se dice que dos conjuntos tienen el mismo *cardinal* cuando son equipotentes. Puede, entonces, decirse que el *cardinal* de un determinado conjunto es la clase de todos los conjuntos equipotentes al dado. Un conjunto es *finito* cuando es imposible establecer una biyección entre él y cualquiera de sus partes propias e infinito cuando sí es posible. Con estas ideas se puede establecer que un número natural es el *cardinal* de un conjunto *finito*.

En ambos casos (definición ordinal de Peano o cardinal de Frege) es necesario dar las definiciones de suma y producto apropiadas. Por ejemplo, en el caso de la definición cardinal, la suma de números naturales se corresponde con el cardinal de la unión de conjuntos disjuntos y el producto de números con el cardinal correspondiente al conjunto de productos. Es fácil probar, entonces, las propiedades conmutativa y asociativa de ambas y la distributiva del producto respecto a la suma. También se puede construir ℝ de modo axiomático, y hacer lo mismo con los otros conjuntos numéricos. La técnica consiste en caracterizar cada uno de ellos por la lista de axiomas que le define inequívocamente (salvo isomorfismos).

Números irracionales, algebraicos y trascendentes Los números complejos se reducen a pares de reales; los enteros y racionales también pueden reducirse fácilmente a números naturales. Sin embargo, los números reales se dividen en racionales e irracionales; el conjunto de los primeros tiene la misma potencia de ℕ, mientras que el segundo tiene la del continuo. Desde los griegos se sabe que los números irracionales no son reducibles a fracciones (de ahí su nombre de "no-razones", es decir "no-cocientes"), pero tardó más tiempo en aclarar que los hay de dos clases radicalmente distintas:

a) Los *irracionales algebraicos*, como $\sqrt{2}$, que son raíces de ecuaciones algebraicas con coeficientes racionales o, lo que es lo mismo, enteros (aunque no sean expresables, como el mencionado $\sqrt{2}$, en forma de radicales).



Giuseppe Peano (1858-1932) fue profesor de matemáticas en Turín, inventor y defensor de una lengua universal y uno de los padres de la lógica matemática. Sus contribuciones a diferentes campos de la matemática fueron importantes. Por ejemplo, su invención de la curva que *llena* un cuadrado y que es hoy un ejemplo sencillo de lo que se llama un *continuo* de Peano. También es de destacar su definición axiomática de número natural.

b) Los *irracionales trascendentes*, que son aquellos irracionales como e ó π, que no son raíces de ninguna ecuación con coeficientes enteros.

Curiosamente los irracionales algebraicos tienen la potencia de ℕ, los trascententes la del continuo (o sea, que, en términos intuitivos, la recta real la *llenan* los trascendentes).

Se recuerda que un conjunto infinito tiene la potencia de ℕ, o es numerable, cuando se puede establecer una biyección entre él y ℕ. Se dice que tiene la potencia del continuo cuando se puede establecer una biyección con el intervalo real [0, 1] (o, lo que es lo mismo aunque no lo parezca, con todo ℝ o con el conjunto de las partes de ℕ, $\mathcal{P}$(ℕ)).

Teorema final de la Aritmética Las sucesivas ampliaciones de los conjuntos numéricos (o su definición axiomática) se adopta siempre en la idea de que las mismas operaciones algebraicas (suma, producto, etc.) que son definidas en uno de ellos lo son también en los siguientes y que se conservan además las propiedades; esto último con la ventaja de que se da solución en un conjunto a problemas insolubles en el anterior. Esta condición se conocía en los textos clásicos como "principio de permanencia de las leyes formales"; desde un punto de vista moderno se trata simplemente de que cada nuevo conjunto es una extensión del anterior que conserva su estructura (anillo, cuerpo, etc.) e incorpora nuevas propiedades.

Cabe pensar: ¿podría continuarse el proceso? Por ejemplo ¿será posible formar hipercomplejos (complejos de más de dos unidades) que conserven todas las propiedades de los complejos? La respuesta es negativa. El "teorema final de la Aritmética" afirma que un conjunto en el que estén definidos una suma y un producto y que sea extensión de ℂ, será tal que alguna de las propiedades de éstas en ℂ no se conservarán en aquél.

De hecho a los vectores del espacio ordinario y a los *cuaternios*, que *son* sumas de *escalar* (número real) y *vector*, —ambos inventos de Hamilton— no se les puede dar una estructura de *cuerpo* que conserve todas las propiedades de ℂ.

Véase **Algebra; Algoritmo; Aritmética; Conjuntos, Teoría de; Convergencia; Grupos, anillos y cuerpos; Infinito matemático; Método axiomático; Relación de equivalencia; Relación de orden; Sistemas de numeración**



Julius Wilhelm Richard Dedekind (1832-1916) fue profesor de matemáticas en Göttingen. Se le debe una formulación rigurosa del concepto de número real, mediante el método de las *cortaduras*. También se ocupó del problema de la continuidad de los números reales y de otros muchos temas. Dedekind fue de los matemáticos que apoyó más dedicidamente a Cantor y a su teoría de conjuntos.

Objetivo fotográfico

Desde que Louis J. M. Daguerre inventara en el siglo XIX el primer proceso de impresión de una imagen, tanto fotógrafos como investigadores en fotografía han dedicado grandes esfuerzos a mejorar todos los aspectos del objetivo de la cámara fotográfica. Este está formado por uno o varios discos de vidrio moldeado y pulido que refractan (desvían) los rayos de luz, orientándolos hacia la película para crear una imagen enfocada. La calidad de esta imagen está exclusivamente determinada por la calidad del objetivo utilizado.

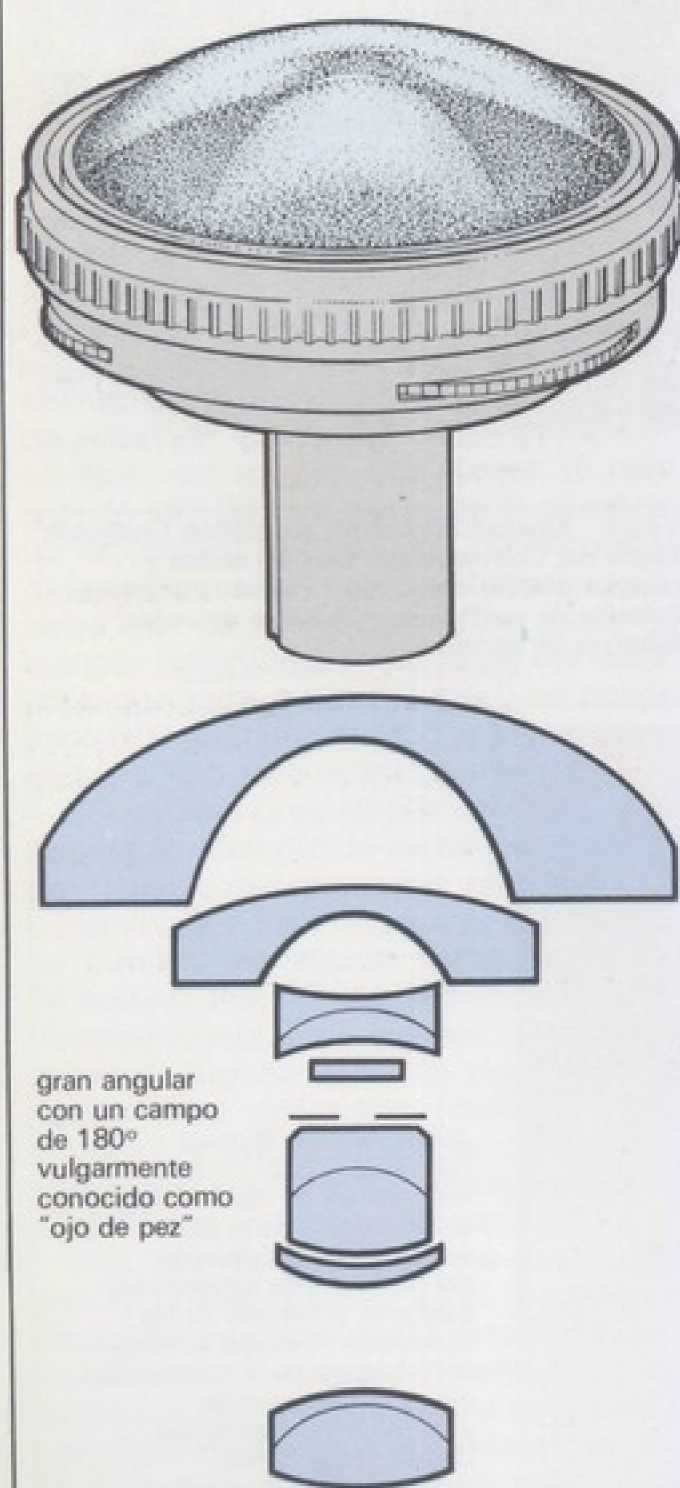
Objetivos compuestos Su finalidad es evitar las indeseables distorciones de la imagen que aparecen en las lentes sencillas de vidrio. Los objetivos compuestos están formados por una serie de lentes individuales divergentes y convergentes, denominadas *elementos*, convenientemente situadas para que la imagen producida sea equivalente a la de una lente simple, pero de mucha mayor calidad.

Entre las distorsiones que aparecen en las lentes una de las más comunes es la *aberración cromática*, llamada así porque la provocan los colores del espectro luminoso. Si las lentes estuviesen impecablemente fabricadas y la radiación luminosa que alcanzara la cámara fotográfica fuese de una longitud de onda única (monocromática), la imagen formada sería perfecta. En realidad la luz está formada por muchos colores, con longitudes de onda distintas. Por la propia naturaleza física de la luz y de la materia, los colores no convergen a la misma distancia de la lente. Es decir, el foco está en una posición ligeramente distinta, por ejemplo, para la luz roja y para luz amarilla. Esto significa que en los objetivos con un único elemento no es posible tener todos los colores enfocados en la película al mismo tiempo, con la consiguiente pérdida de definición de la imagen, tal como ocurría en las antiguas cámaras populares. Para resolver el problema se suele adosar una lente divergente en la parte posterior de una lente convergente. De esta forma se puede hacer coincidir las distancias focales de los distintos colores del espectro, corrigiéndose la aberración de este tipo. Un objetivo de estas características se llama *objetivo cromático*. Sin este tipo de objetivo la fotografía moderna en color sería impracticable. Una solución parecida es la utilizada para resolver problemas de astigmatismo, defecto de los instrumentos ópticos debido a la incapacidad de una lente de enfocar simultáneamente las líneas verticales y las horizontales en los bordes del campo visual. Este defecto se suele corregir utilizando dos elementos adicionales, que forman el objetivo conocido habitualmente como *objetivo triple*. Este tipo de objetivos es el más utilizado en las cámaras fotográficas de precio medio.

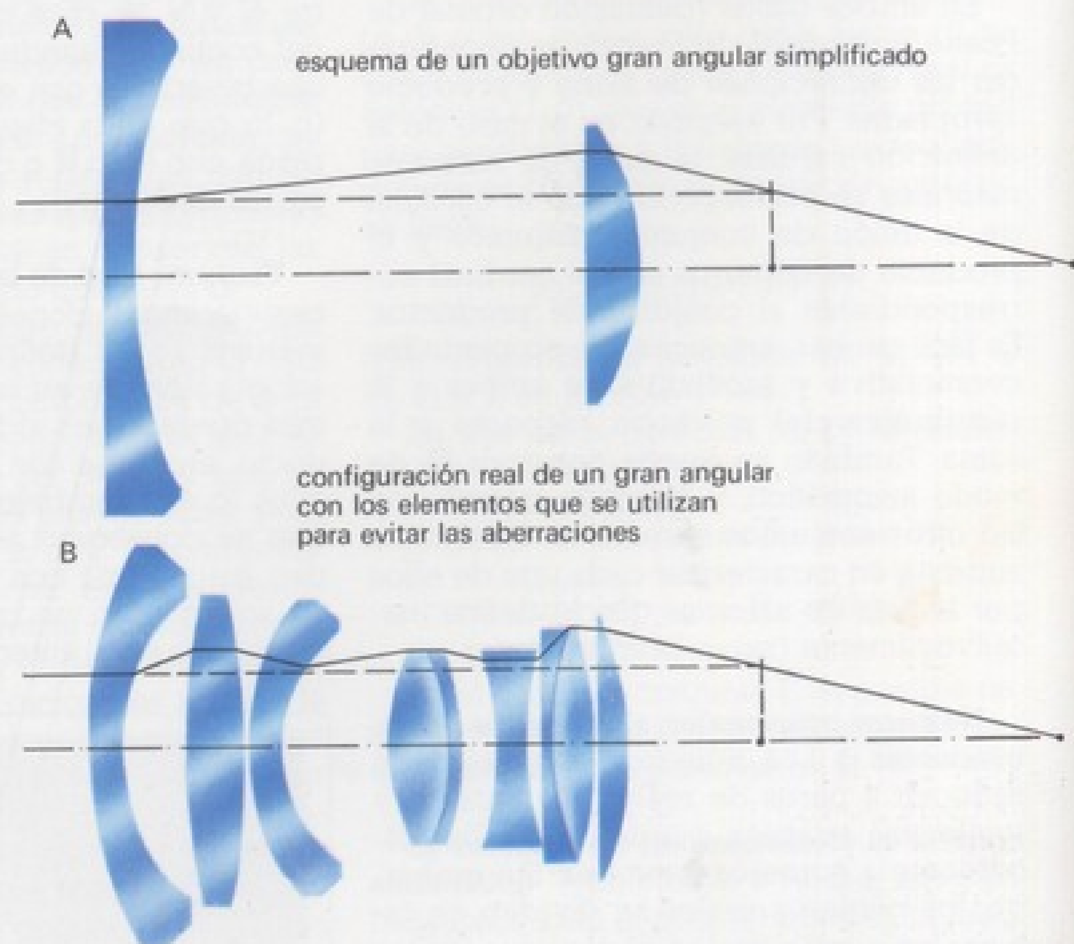
Clases de objetivos La característica que define el ángulo visual que abarca un objetivo es la *longitud focal* o distancia desde el objetivo hasta el lugar donde se coloca la película (plano focal), de manera que cuanto mayor es esta distancia, menor es el ángulo que se puede abarcar con el objetivo.

Los *teleobjetivos* son objetivos tubulares largos, con grandes longitudes focales y que abarcan sólo una pequeña parte de la escena. Son útiles siempre que se quiera fotografiar con detalle motivos lejanos. Su peso aumenta con la longitud focal, hasta el punto de que por encima de 350 mm, en cámaras de 35 mm de paso, es indispensable el uso de un trípode para fijar la cámara.

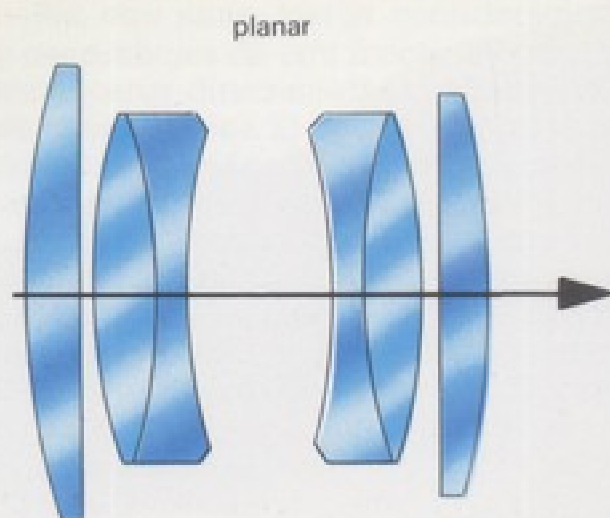
Los objetivos *gran angulares*, por el contrario, con pequeñas longitudes focales, abarcan campos visuales de hasta 180° e incluso mayores y son de pequeño tamaño. Aunque todavía muy generalizados entre los aficionados medios, el uso de estos objetivos está decayendo en favor de los de longitud focal variable, conocidos popularmente por "zoom".



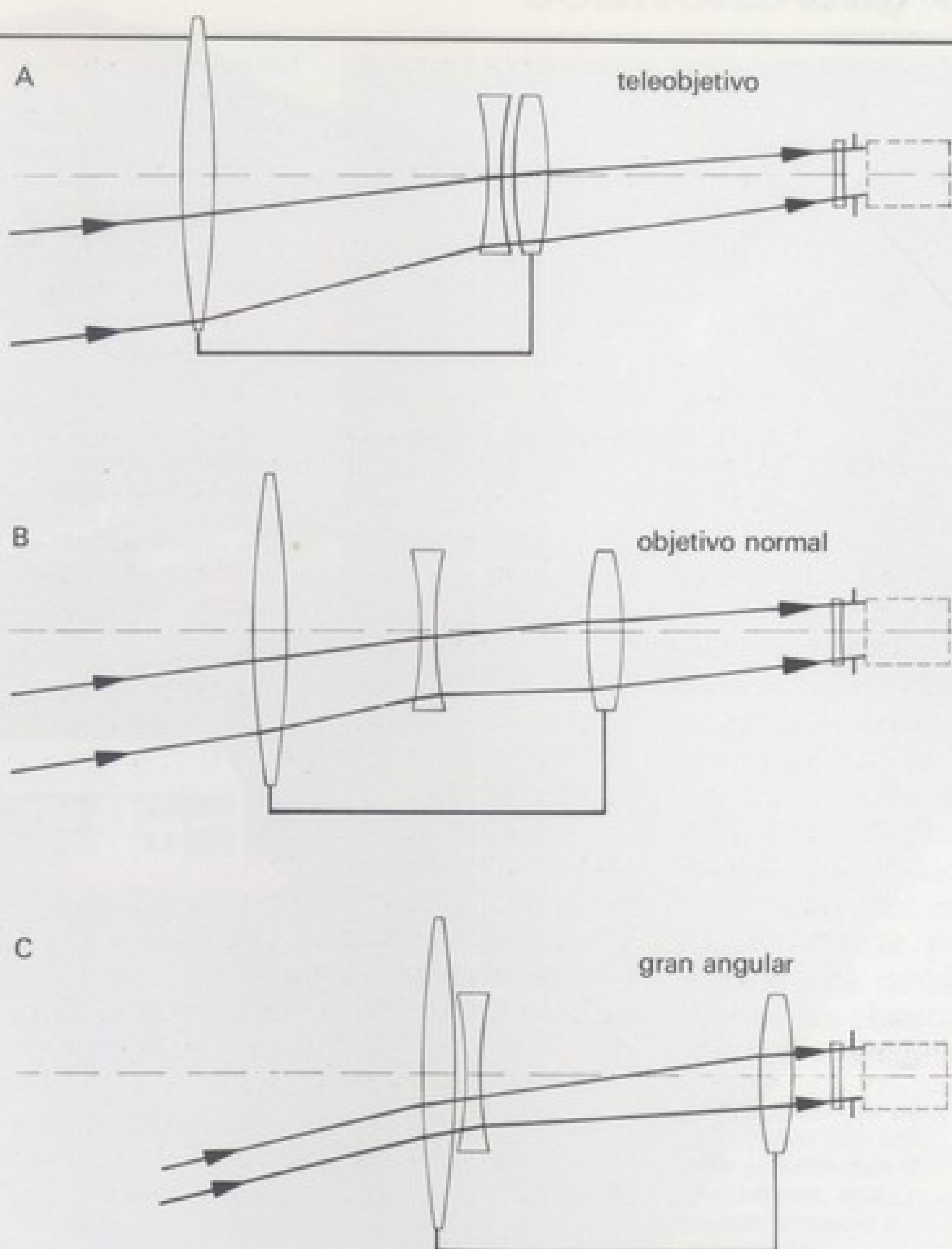
A la izquierda, un objetivo gran angular, también llamado "ojo de pez", capaz de captar todas las imágenes dentro de un ángulo de 180°. Está compuesto por un primer elemento (nombre que reciben las lentes simples) con una curvatura muy fuerte y con un diámetro mayor que todos los demás. Se puede observar que las superficies internas del primer y del segundo elementos tienen una forma más de paraboloide que de esfera. Cuando se pretende obtener muchas prestaciones de un objetivo (como, por ejemplo, un ángulo visual excepcionalmente amplio), recurrir a lentes con superficies con forma no esférica permite corregir las aberraciones con relativamente pocos elementos. Utilizando lentes esféricas, el número de elementos necesario para conseguir el mismo efecto sería prohibitivo. En la sección puede observarse el pequeño tamaño del agujero del diafragma *d*, por el que pasa toda la luz. La poca luminosidad es una limitación de los objetivos con longitudes focales extraordinariamente largas.



Sobre estas líneas, esquema de un objetivo gran angular. En el esquema *A*, una lente divergente recoge la luz y una convergente, situada detrás y en el mismo eje óptico, la concentra en el foco para formar una imagen, aunque deformada, de un amplio campo visual, de igual modo que la imagen observada al mirar a través de la mirilla de una puerta. Para la realización práctica de objetivos de buena calidad, cada una de las dos lentes se transforma en un sistema de muchos elementos, cuya finalidad es evitar que aparezcan aberraciones en la figura formada en el plano focal (esquema *B*). Normalmente la dificultad al fabricar un buen objetivo gran angular es el de evitar las aberraciones debidas a la fuerte curvatura de las lentes. Sin embargo, no se puede hacer nada para obviar la deformación que experimenta la imagen debida a la concentración del amplio campo de visión en la superficie fija de la película, resultando las líneas verticales curvadas con la concavidad hacia el centro, tanto más cuanto menor sea la longitud focal del objetivo.



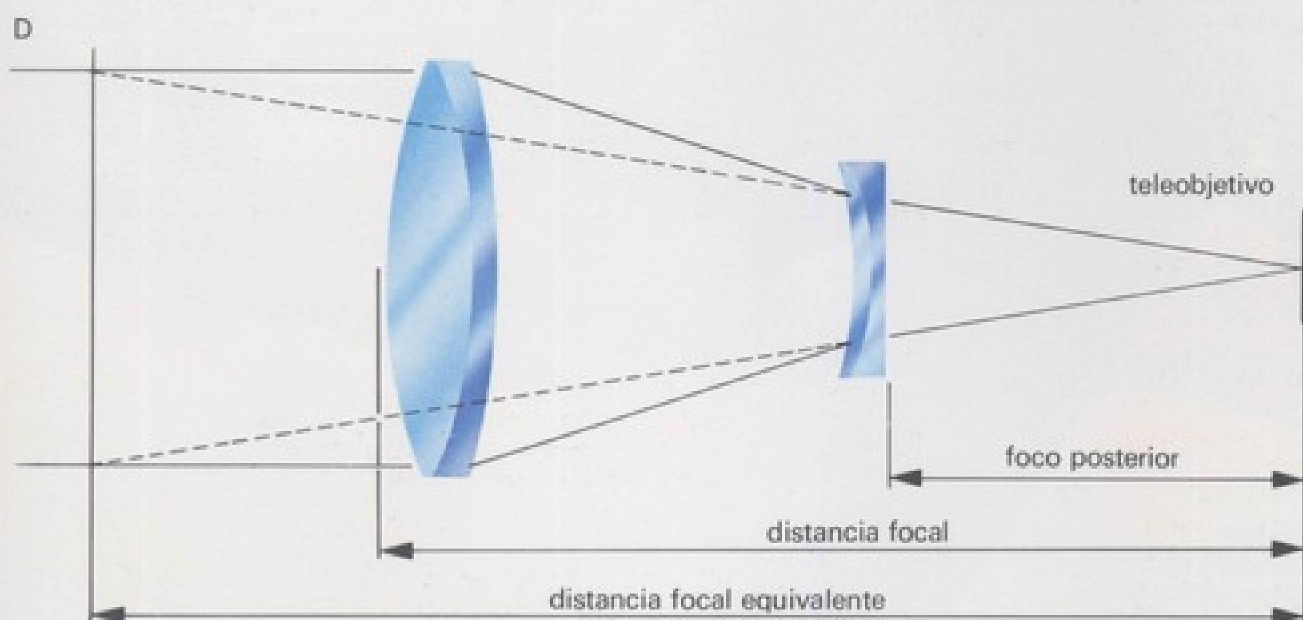
Arriba, la sección de un objetivo de fotografía normal, sin excesiva luminosidad, con ángulo visual y distancia focal normales. Estos objetivos, nacidos en su mayor parte a principios de siglo, son los que están montados en la mayoría de las cámaras de una cierta calidad.



A la izquierda de estas líneas se presenta un esquema de la colocación de las lentes en un objetivo *zoom*. La lente divergente central puede desplazarse manualmente, consiguiendo así un cambio en la distancia focal. Según la colocación de las lentes el objetivo funciona como teleobjetivo (A), como objetivo normal (B) o como gran angular. En A el grupo de la izquierda actúa como lente convergente y el de la derecha como divergente para alargar la distancia focal. En C sucede lo contrario, el grupo de la izquierda actúa como divergente y los rayos son concentrados mediante el grupo más cercano a la película.

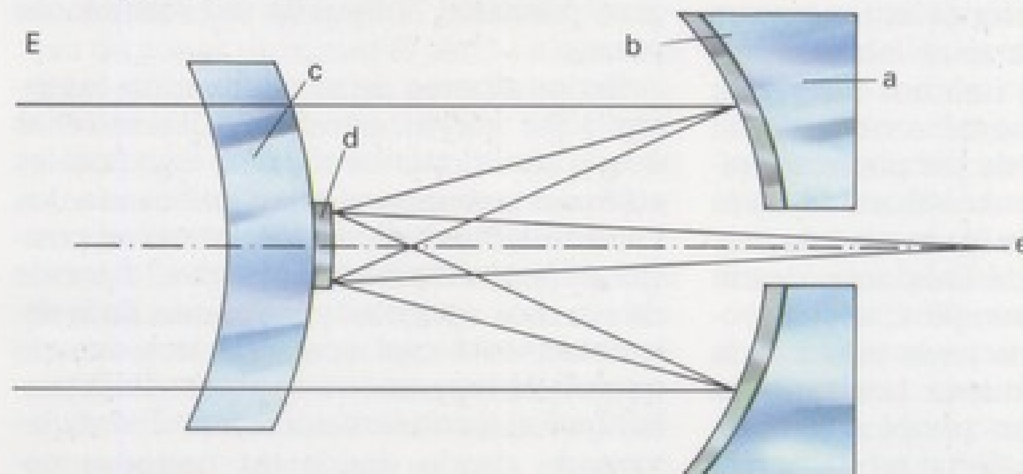
Diseñado originalmente para ser usado en cámaras de cine y televisión, el *zoom* se ha introducido con gran éxito hace algunos años en el mundo de la fotografía porque presenta una gran ventaja: puede ser usado como gran angular o como teleobjetivo a voluntad del fotógrafo, eliminando el incómodo y lento proceso de sustitución de un objetivo por otro cada vez que se desea un campo visual distinto. Normalmente está formado por dos conjuntos de elementos, cada uno de ellos colocado en el extremo de un tubo. Uno de los conjuntos se puede acercar y alejar del otro, creando de esta forma un paso continuo de un objetivo con una distancia focal grande a uno con distancia focal pequeña. El *zoom* es, pues, una especie de ojo idealizado, que puede acercarse y alejarse del objeto a voluntad.

Su único inconveniente respecto a los objetivos de longitud focal fija es una pequeña pérdida de luminosidad. Para compensarlo, se han desarrollado recientemente películas de color, en diapositivas y papel de alta sensibilidad, que no sólo eliminan estas dificultades, sino que posibilitan la ejecución de fotografías en condiciones de luz tan débiles que sería impensable hace tan sólo unos pocos años.



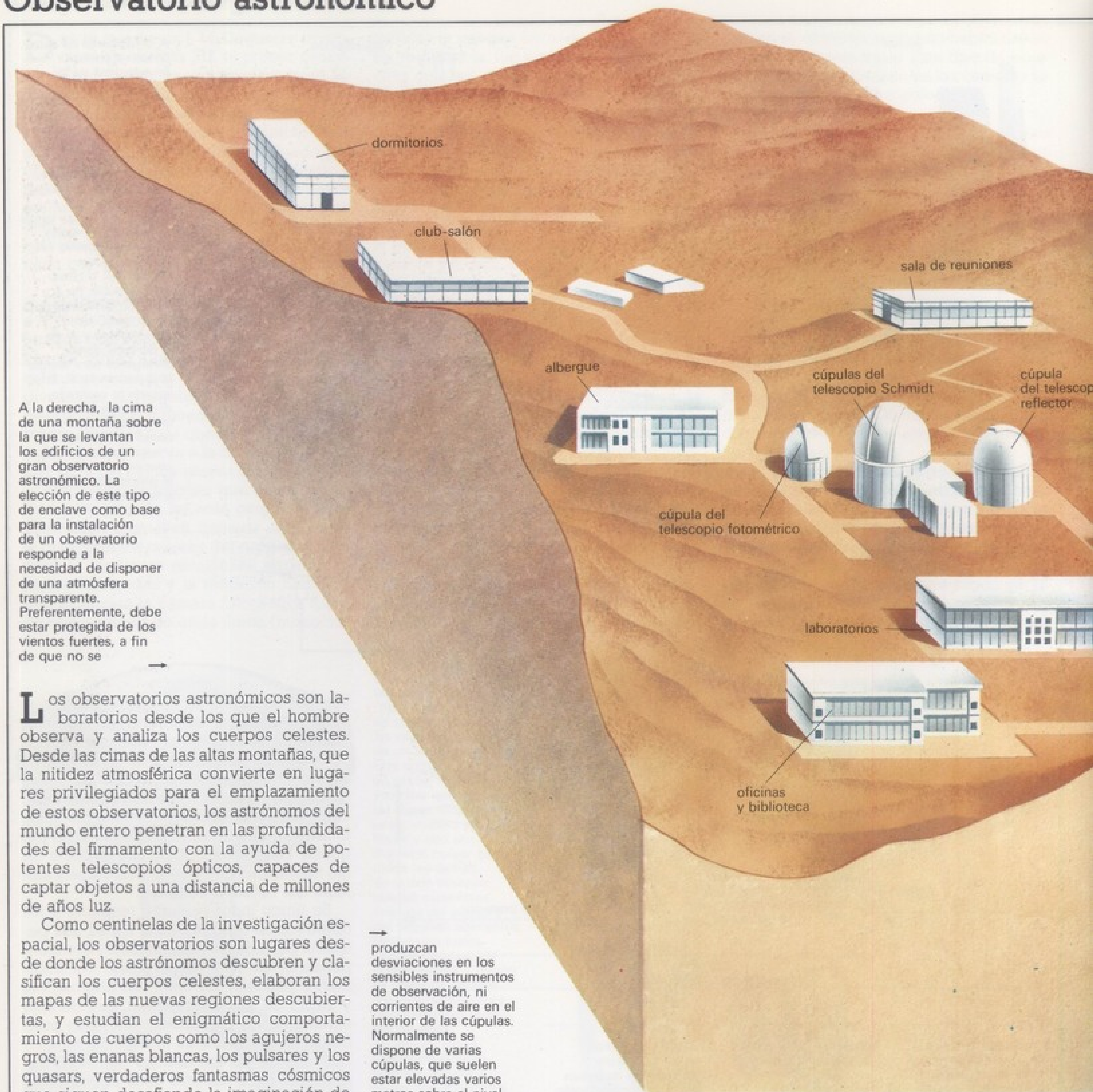
Sobre estas líneas se representa un teleobjetivo de óptica fija cuya configuración es similar a la del *zoom* descrita en la figura A de la imagen superior.

A la derecha (E) se representa el esquema de un teleobjetivo catadióptrico, cuya característica fundamental es la utilización de espejos para aumentar la longitud focal a base de reflexiones, reduciendo considerablemente la longitud total del objetivo y aligerando su peso, ya que los espejos reemplazan a algunos elementos de vidrio mucho más pesados. En el esquema, la base (a) está recubierta de una fina capa metálica (b) que refleja la luz. Utilizando aislante, este espejo proporcionaría una imagen con fuertes aberraciones, especialmente en los bordes. Para corregirlas, se utiliza una lente gruesa de vidrio de fuerte curvatura (c). Finalmente, para aumentar la distancia focal se obliga a los rayos a reflejarse en la superficie interna convexa y cubierta de aluminio (d) de la lente correctora, que los enfoca lejos (e) y sin aberraciones. Este tipo de objetivo ha desplazado a los objetivos convencionales en distancias focales superiores a 500 mm.



Véase **Cámara fotográfica; Fotografía; Fotografía, iluminación; Fotómetro y exposímetro**

Observatorio astronómico



A la derecha, la cima de una montaña sobre la que se levantan los edificios de un gran observatorio astronómico. La elección de este tipo de enclave como base para la instalación de un observatorio responde a la necesidad de disponer de una atmósfera transparente. Preferentemente, debe estar protegida de los vientos fuertes, a fin de que no se → produzcan desviaciones en los sensibles instrumentos de observación, ni corrientes de aire en el interior de las cúpulas. Normalmente se dispone de varias cúpulas, que suelen estar elevadas varios metros sobre el nivel →

Los observatorios astronómicos son laboratorios desde los que el hombre observa y analiza los cuerpos celestes. Desde las cimas de las altas montañas, que la nitidez atmosférica convierte en lugares privilegiados para el emplazamiento de estos observatorios, los astrónomos del mundo entero penetran en las profundidades del firmamento con la ayuda de potentes telescopios ópticos, capaces de captar objetos a una distancia de millones de años luz.

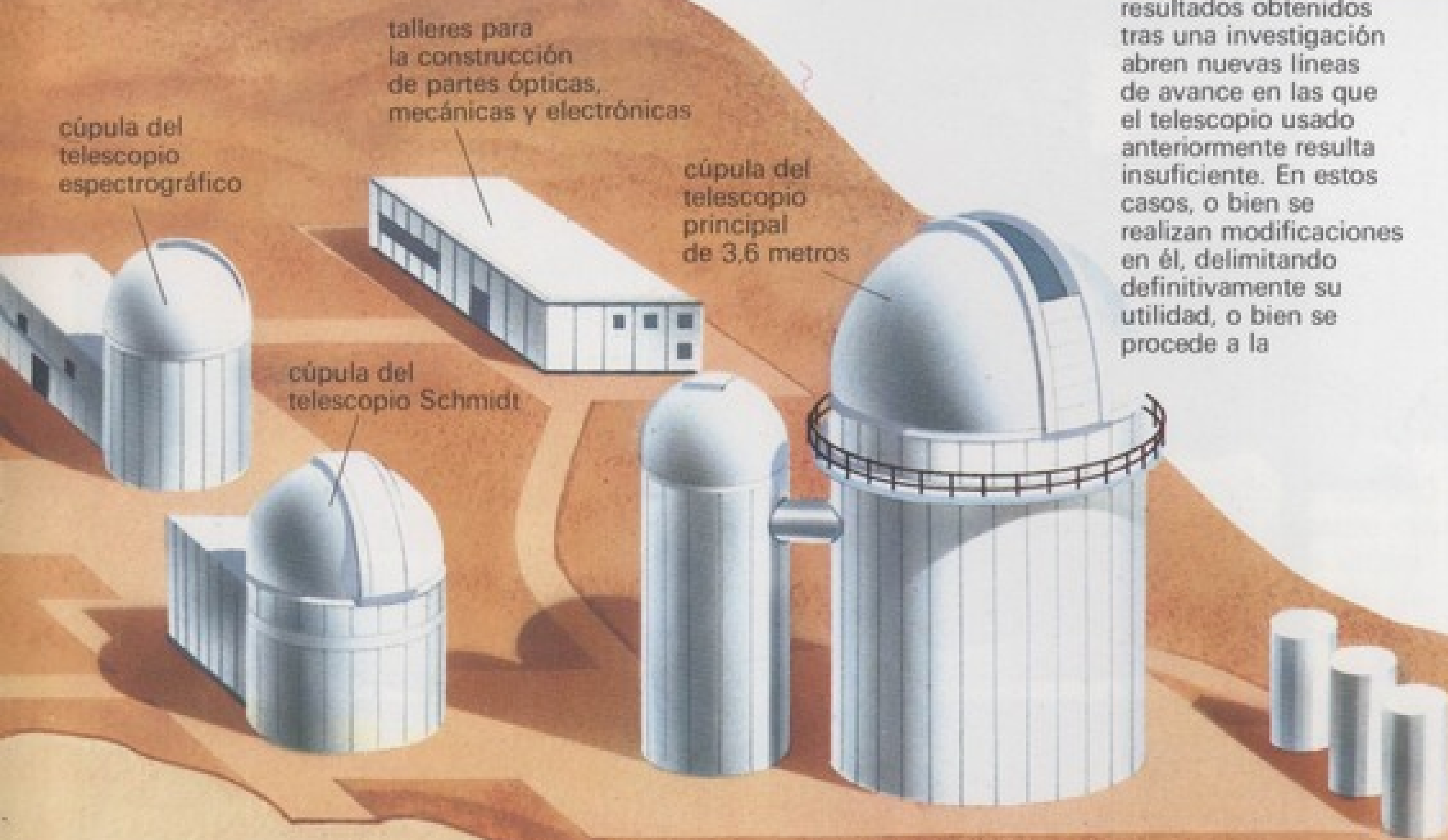
Como centinelas de la investigación espacial, los observatorios son lugares desde donde los astrónomos descubren y clasifican los cuerpos celestes, elaboran los mapas de las nuevas regiones descubiertas, y estudian el enigmático comportamiento de cuerpos como los agujeros negros, las enanas blancas, los pulsares y los quasars, verdaderos fantasmas cósmicos que siguen desafiando la imaginación de los científicos.

Los astrónomos de la antigüedad La historia de los observatorios astronómicos se remonta a tiempos muy lejanos, casi 5.000 años, cuando el hombre dirigió su mirada al cielo y comenzó a observar el Sol, la Luna y el resto de los planetas, tratando de comprender su influencia en la vida sobre la Tierra. Ya los sacerdotes-astrónomos de la antigua Babilonia, desde las cúspides de sus templos, hacían corresponder el inicio de cada mes con la aparición de la Luna nueva. Los antiguos egipcios construyeron templos solares, como el de Amón-Ra, de tal modo que la incidencia de un fino rayo de luz sobre el muro de una oscura capilla anunciaba con gran precisión la llegada del solsticio de verano.

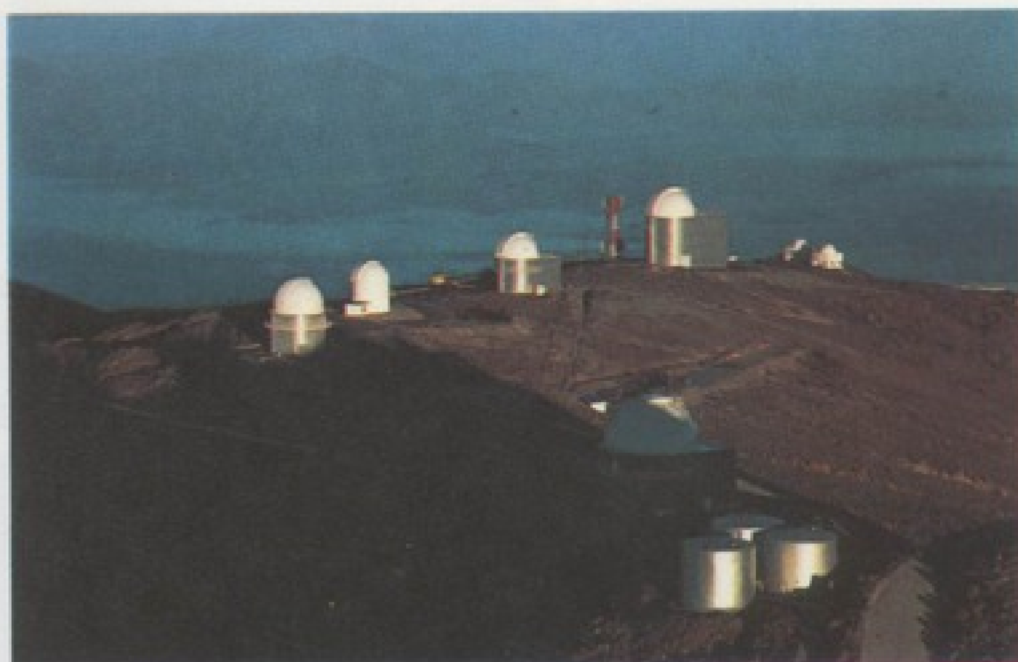
En los albores de su civilización, los incas y los mayas estudiaban las estrellas desde observatorios situados en colosales edificaciones piramidales, utilizando los conocimientos adquiridos sobre las posiciones y movimientos celestes, a través de sus ritos agrícolas y religiosos. En la actualidad, está casi aceptada la teoría de que el monumento megalítico de Stonehenge fue un observatorio, toscamente levantado, desde donde los bretones podían estudiar las estrellas a partir del desplazamiento de las sombras que el Sol proyectaba al incidir sobre los gigantescos pilares verticales.

Fue la invención del telescopio la que permitió al ser humano extender sus conocimientos y sus métodos de investigación sobre el firmamento, marcando el inicio de la astronomía moderna. Proporcionando al hombre una clara visión de los cuerpos celestes cercanos, el telescopio contribuyó a invalidar la teoría según la cual la Tierra era el centro del Universo y el punto en torno al cual giraban los demás planetas.

Por otra parte, fueron consideraciones y necesidades de otra índole las que promocionaron directamente la construcción de observatorios. El importante desarrollo de la navegación marítima exigía un cada vez más preciso conocimiento del tiempo y de las posiciones estelares, y con el fin de proporcionar a los navegantes un eficaz sistema de coordenadas, surgieron, entre finales del siglo XVII e inicios del XVIII, los primeros observatorios. Solo más tarde, con el desarrollo de telescopios más sofisticados y con el aumento del interés por la comprensión del Universo, los observatorios fueron adquiriendo, progresivamente, sus específicas y cotidianas funciones. A principios del siglo XX, adoptaron la estructura física que aún hoy conservan: una cúpula hemisferial dividida longitudinalmente por una ranura que, como si fuera un obturador, puede ser abierta cuando vaya a ser utilizada. Generalmente, la ranura está cubierta por una o dos persianas metálicas que pueden deslizarse, manual o mecánicamente, sobre unos raíles, posibilitando el acceso al cielo del telescopio. Esta ranura debe extenderse más allá del cenit de la cúpula, de forma que no impida las observaciones de zonas próximas al cénit celeste. No debe ser muy estrecha, pues debe permitir la entrada de un haz de luz suficiente, y tampoco demasiado amplia, ya que en este caso facilitaría la entrada de corrientes de aire que dificultarían las observaciones. La base de la cúpula está dotada de una serie de rodamientos que, al deslizarse sobre unos rieles, le confieren un movimiento de rotación por el cual es posible la orientación de la ranura en la dirección del objeto que se va a observar.



→ del suelo: esto se debe a que en las cercanías del suelo se producen pequeños remolinos de aire, debidos a las diferencias de temperatura, que pueden llegar a perturbar la formación de imágenes. El número de cúpulas está en relación con la amplitud de las investigaciones que se lleven a cabo en el observatorio. Cada cúpula contiene un telescopio, cada uno de los cuales se suele dedicar a un campo específico de investigación. Sucede a menudo que los resultados obtenidos tras una investigación abren nuevas líneas de avance en las que el telescopio usado anteriormente resulta insuficiente. En estos casos, o bien se realizan modificaciones en él, delimitando definitivamente su utilidad, o bien se procede a la construcción de otro del mismo tipo pero más potente que el precedente, que queda relegado a actividades secundarias, o de colaboración con el nuevo.



En torno a un observatorio suelen levantarse diversos edificios destinados a actividades complementarias a la mera observación; alojamientos para el personal residente o en tránsito, laboratorios para el tratamiento del material fotográfico, talleres de mantenimiento, bibliotecas, aulas para reuniones, etc. En la fotografía, el complejo de Pic du Midi.

El observatorio moderno En la actualidad existen más de cien observatorios importantes, repartidos entre poco más de 30 países. Los observatorios dotados de telescopios ópticos se encuentran situados sobre las cimas de altas montañas, desde donde pueden obtenerse vistas más nítidas de la bóveda celeste. Sin embargo, las observaciones astronómicas se limitan a noches especialmente limpias, cuando la distorsión atmosférica de las imágenes se reduce al mínimo. Los observatorios suelen ser construidos en zonas alejadas de los centros urbanos, que constituyen focos de contaminación y origen de interferencias luminosas que dificultan la observación; es importante, además, que dichas zonas se encuentren en regiones donde el clima sea razonablemente estable, ya que las bruscas variaciones de temperatura afectan a la precisión de los instrumentos y, por lo tanto, a la fiabilidad de los datos obtenidos.

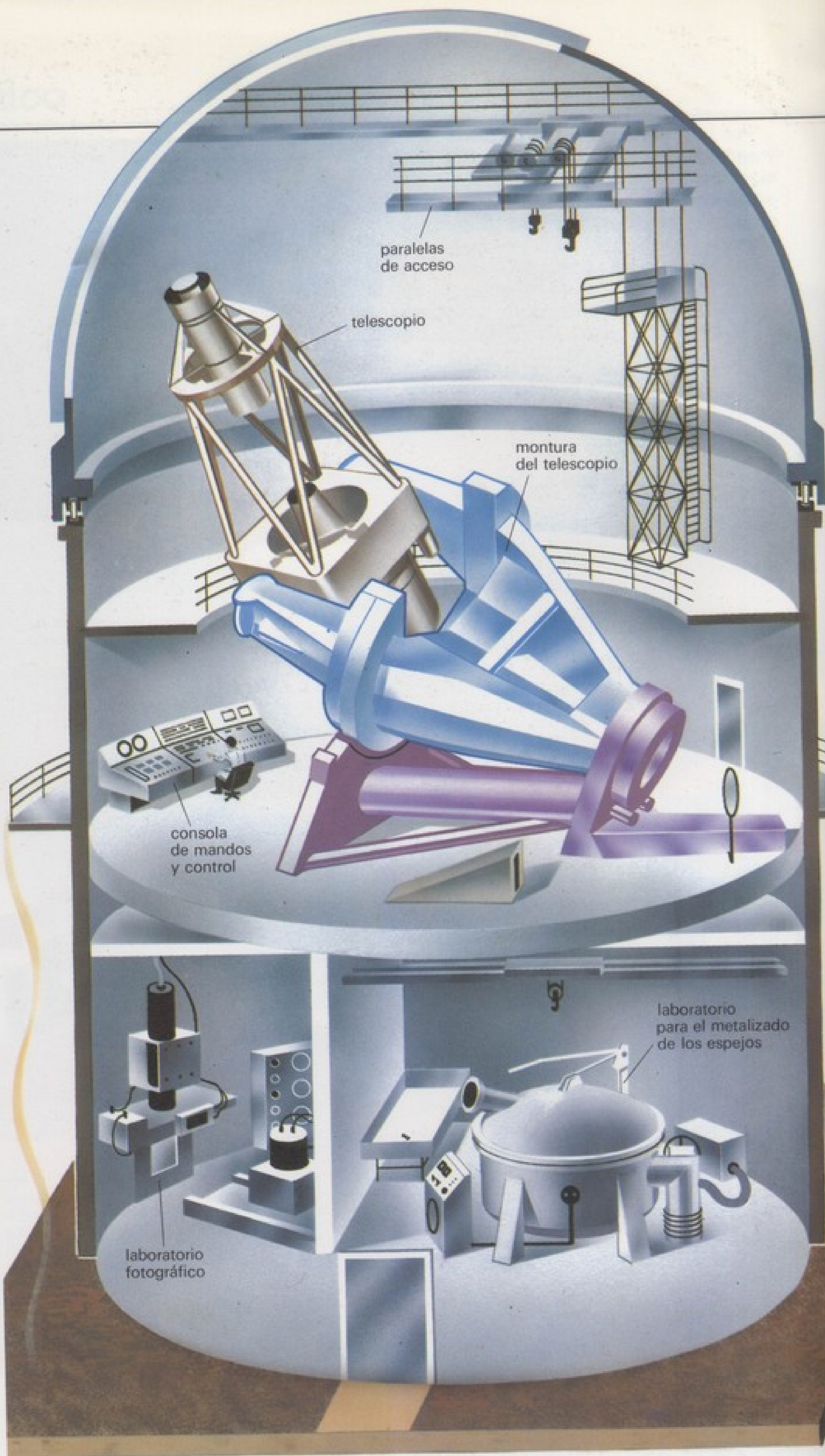
En los años posteriores a la II Guerra Mundial, tuvo lugar el desarrollo de un

nuevo campo en la observación astronómica: la Radioastronomía. En 1930 había sido constatado que las ondas de radio, procedentes de lejanos puntos de nuestra Galaxia, podían ser captadas desde la Tierra. Las radioondas forman parte, al igual que la luz, del espectro electromagnético, y dan lugar a un débil y continuo ruido de fondo que emana de cúmulos estelares, nubes de polvo cósmico, estrellas y diversos objetos celestes. Mediante los radiotelescopios, los astrónomos pueden sintonizar y "escuchar" la presencia de estos objetos, la mayoría de los cuales permanece invisible a los reconocimientos con telescopios ópticos. De esta manera, han podido ser descubiertas zonas absolutamente desconocidas de la Vía Láctea.

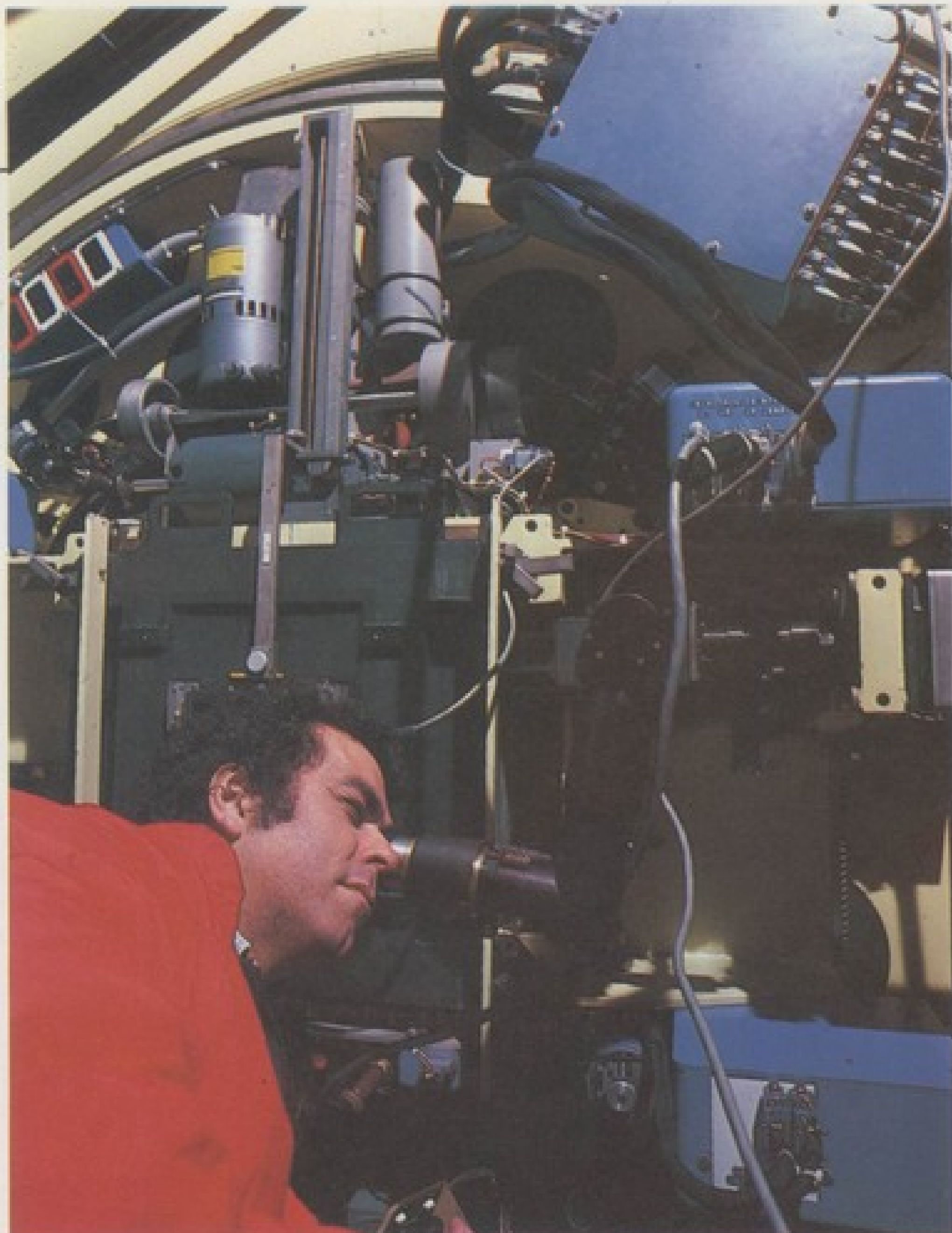
El elemento receptor de un radiotelescopio consta de un gran paraboloide metálico que recoge las ondas de radio procedentes del espacio y las concentra sobre una pequeña antena situada en el punto focal. Un aparato al efecto se ocupa de la amplificación de estas ondas que, posteriormente, son divididas, clasificadas y analizadas por un ordenador. A menudo, los radiotelescopios funcionan en asociación con los telescopios ópticos: primero, el radiotelescopio localiza una fuente emisora de radioondas y, posteriormente, los astrónomos dirigen sus potentes telescopios ópticos hacia la zona en cuestión, focalizándolos sobre el lejano objeto. La ciencia de la era espacial ha proporcionado al campo de la astronomía numerosos instrumentos que complementan la labor de los telescopios en su estudio de la bóveda celeste. Entre estos, deben recordarse los transmisores y receptores de radar, los sofisticados equipos fotográficos acoplables a los telescopios, los sismógrafos, los analizadores espectrales, los detectores de radiación cósmica y los computadores de alta velocidad. A su vez, los observatorios pueden estar especializados en un campo específico de investigación, y en estos casos cuentan con la idónea y completa instrumentación que dicha especialidad requiere. Existen, por ejemplo, observatorios que estudian exclusivamente el Sol, y en los que el instrumento principal es el espectroheliógrafo cuya misión consiste en descomponer la luz solar sobre un espectro, según las distintas longitudes de onda que contiene. El posterior análisis de las líneas que forman el espectro proporcionará la composición química de la superficie solar.

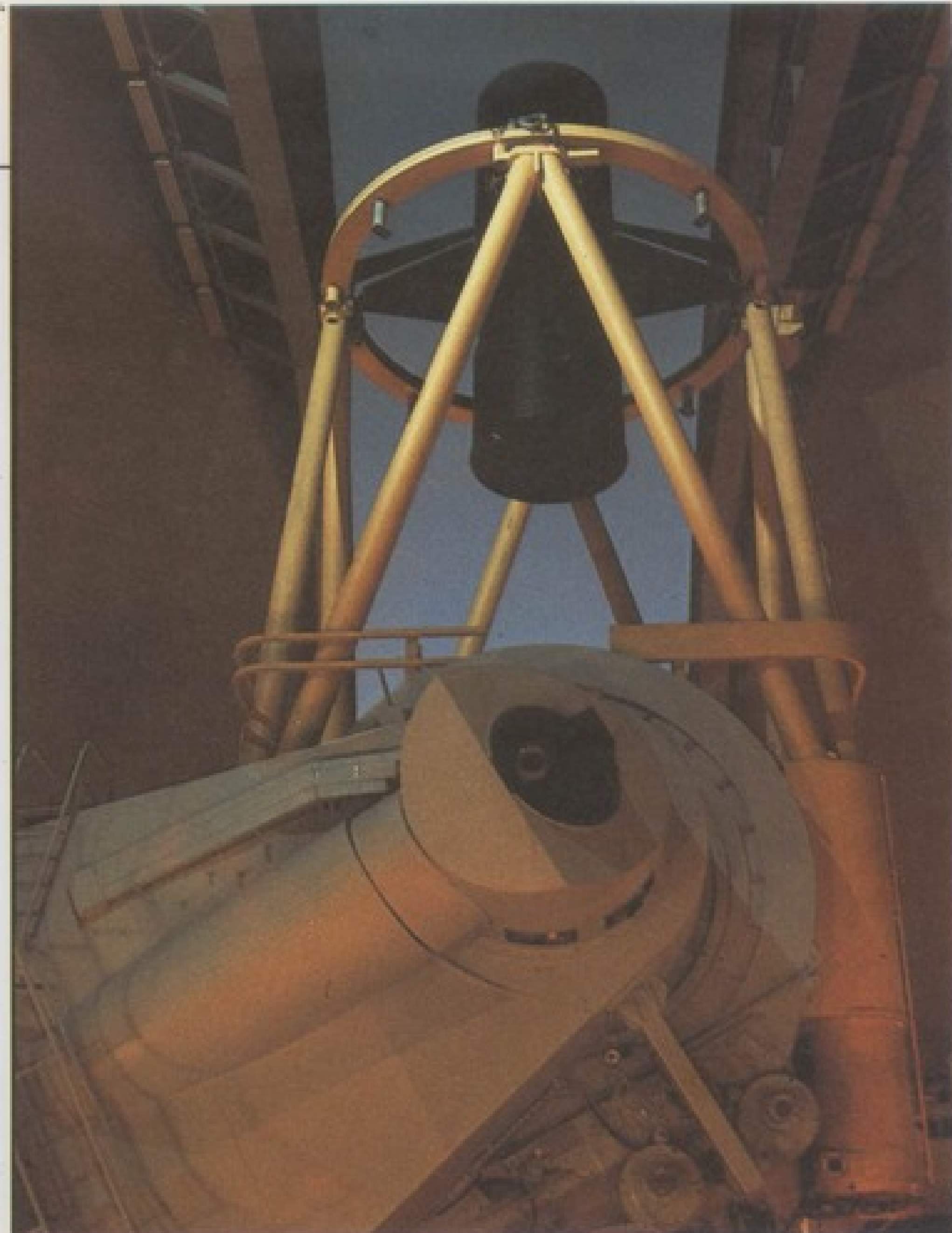
Con éstos y con otros instrumentos de análisis espectral, además de los telescopios ópticos convencionales, los astrónomos de los observatorios valoran la composición y la temperatura del Sol, vigilan los eventuales cambios que puedan producirse en su superficie y fotografían detalladamente la actividad de las manchas solares.

El ojo del telescopio El telescopio óptico sigue siendo todavía el instrumento rey de un observatorio. Los hay de dos tipos: reflector y refractor. El telescopio re-



En el esquema superior se detalla un corte seccional de una torre con cúpula, en cuyo interior se encuentra un moderno telescopio. Este se halla situado en el piso superior, debajo, están los gabinetes de servicios, entre los que destaca el destinado al metalizado de la superficie del espejo. Este tiene lugar en una gran cámara de vacío, situada abajo, a la derecha. Arriba, se observan las grúas y escaleras para el montaje y la manutención. A la izquierda, el tablero de mandos, actualmente controlado por un ordenador, desde donde se accionan los movimientos del telescopio. Este aparece de forma que nos permite destacar sus partes más esenciales: se puede apreciar que se trata de un modelo moderno, dada su gran abertura y su pequeña longitud. La luz, tras sufrir las reflexiones en los espejos primario y secundario, acaba impresionando una placa fotográfica, o bien introduciéndose en distintos instrumentos electrónicos para su posterior análisis. En ciertos casos, puede ser analizada por aparatos en el piso inferior. En la página siguiente, un astrónomo observando a través del ocular de guía, y el moderno telescopio del observatorio de Mauna Kea (Hawaii).





fractor recoge la luz procedente de un cuerpo celeste mediante una lente "objetivo" colocada en la extremidad superior de su largo tubo. La función del objetivo consiste en proyectar, sobre su punto focal, la imagen del objeto observado. Esta imagen es aumentada por el ocular, de modo que aparece ante el ojo como un objeto mucho más grande. Los refractores son utilizados, principalmente, para la observación del sistema solar, ya que con ellos se consiguen imágenes muy nítidas de los cuerpos celestes cercanos.

El telescopio reflector consigue la focalización de la luz mediante la reflexión de ésta en un paraboloide metálico, situado en el fondo del tubo, y cuya superficie se halla perfectamente aluminizada, como si fuera un espejo.

Una propiedad del espejo parabólico es que los rayos de luz que inciden paralelamente a su eje se reflejan en un foco común. Por lo general, sobre este eje se coloca otro espejo en el que la luz reflejada por el espejo primario vuelve a sufrir una nueva reflexión, después de la cual se dirige finalmente a un ocular exterior.

En algunos observatorios, el observador debe situarse dentro de una especie de jaula montada en el interior mismo del tubo. Los telescopios reflectores tienen una mayor capacidad de captación de luz, y nos permiten observar el espacio con mayor profundidad. Gracias a ellos, ha sido posible localizar y estudiar esos "fantasmas cósmicos" que son los agujeros negros, los quasars, las enanas blancas y los pulsares. Hasta hace poco tiempo el telescopio reflector más grande y famoso era el de Monte Palomar, en California, con un espejo de 508 cm de diámetro. Su capacidad de captación de radiación es 360.000 veces la del ojo humano. El gigante de Monte Palomar es principalmente utilizado para la obtención de fotografías de galaxias y cuerpos lejanos, entre los 500 y los 1.000 millones de años luz de distancia. Sin embargo, actualmente el mayor telescopio óptico del mundo es el telescopio reflector de 6 metros situado en un observatorio del mar Negro, en la Unión Soviética.

Las monturas de los grandes telescopios están adaptadas a un mecanismo de precisión que les confiere un movimiento de rotación uniforme. El objeto de este movimiento es compensar los efectos de la rotación terrestre, permitiendo la observación estática de un objeto, sin necesidad de rectificar continuamente la dirección visual del telescopio.

La astronomía fotográfica permite obtener, con una gran nitidez, imágenes de estrellas u otros objetos celestes. Los astrónomos han conseguido obtener fotografías de zonas particularmente poco luminosas del cielo. Para ello, han recurrido a tiempos muy largos de exposición, incluso repitiendo el proceso durante sucesivas noches. De esta forma, la capacidad de captación de la luz puede ser aumentada considerablemente, permitiendo obtener impresiones fotográficas de objetos que resultan invisibles para el ojo humano. Estas fotografías son, posteriormente, estudiadas y analizadas mediante ordenadores de alta velocidad, facilitando la corrección o elaboración de mapas estelares.

La luz procedente de un objeto lejano del espacio puede ser también sometida a diversos análisis de tipo espectroscópico. El espectroscopio, al igual que otros analizadores espectrales, funciona de forma análoga a la de los prismas ópticos; descompone la luz según las diferentes longitudes de onda que la componen y proporciona un espectro a partir del cual puede deducirse la composición química de los cuerpos celestes responsables de dicha emisión. El espectroscopio puede, de ésta manera, facilitar la constitución química y la densidad de una fuente de luz muy lejana. Ha sido este método de análisis el que ha permitido a los astrónomos medir la temperatura superficial de las estrellas, la intensidad de sus campos magnéticos, e incluso, sus velocidades de acercamiento o alejamiento respecto al sistema solar.

Observatorios espaciales Recientemente se ha iniciado el proyecto de instalar un observatorio astronómico en el espacio. Ya en 1962, la NASA envió al espacio el Observatorio Solar Orbital (O.S.O.), cuya misión era la de realizar, mediante el telescopio con que iba equipado, nuevas y mejores observaciones del sistema solar y del espacio exterior, aprovechando las grandes condiciones de nitidez que ofrece el vacío.

Los científicos de la NASA confían en que el vehículo espacial "Space Shuttle" sea el encargado de trasladar y situar en el espacio un observatorio permanente que, dotado con un telescopio manipulable por control remoto, permita extender las actuales fronteras de la observación hasta zonas desconocidas del Universo.

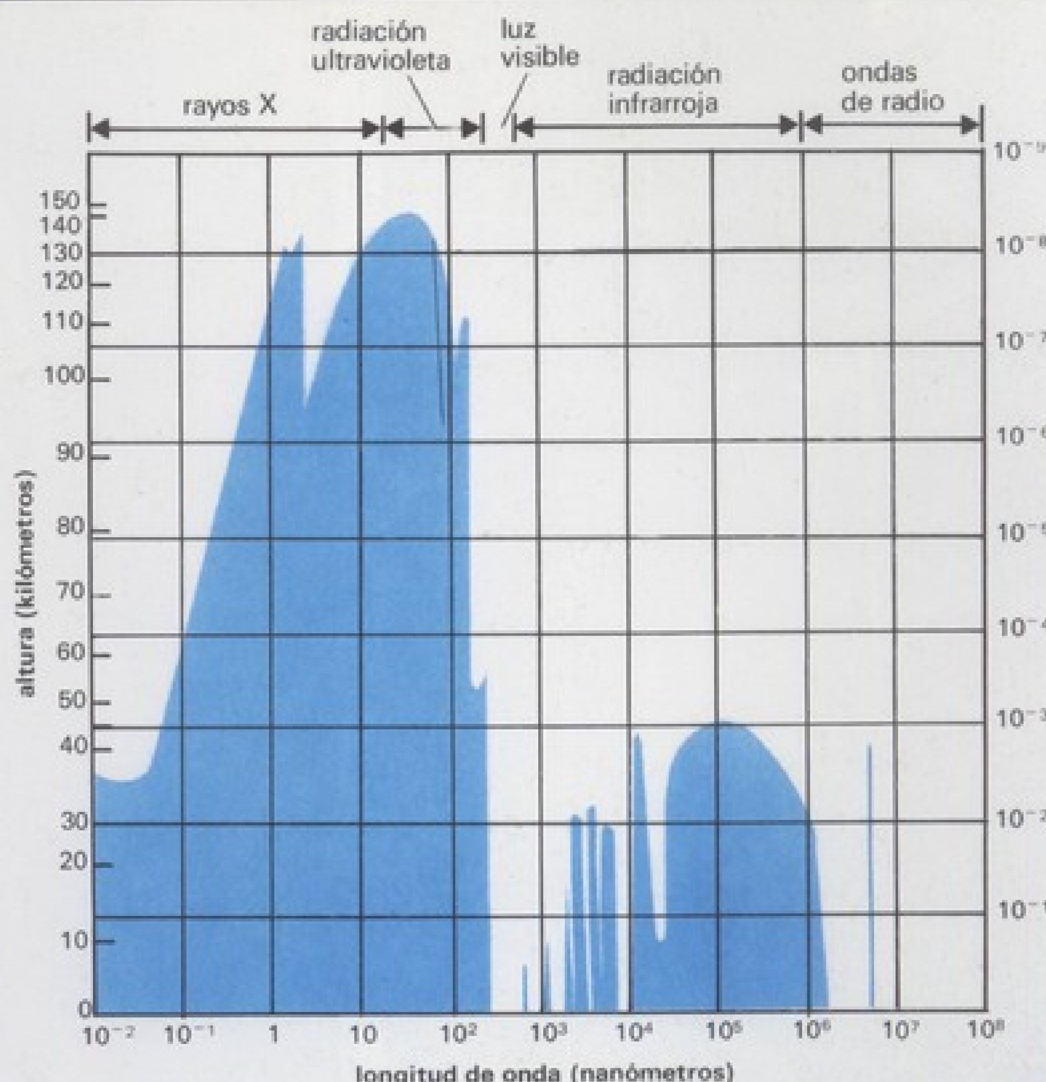
Véase **Astronomía; Observatorio espacial; Telescopio y radiotelescopio**

Observatorio espacial

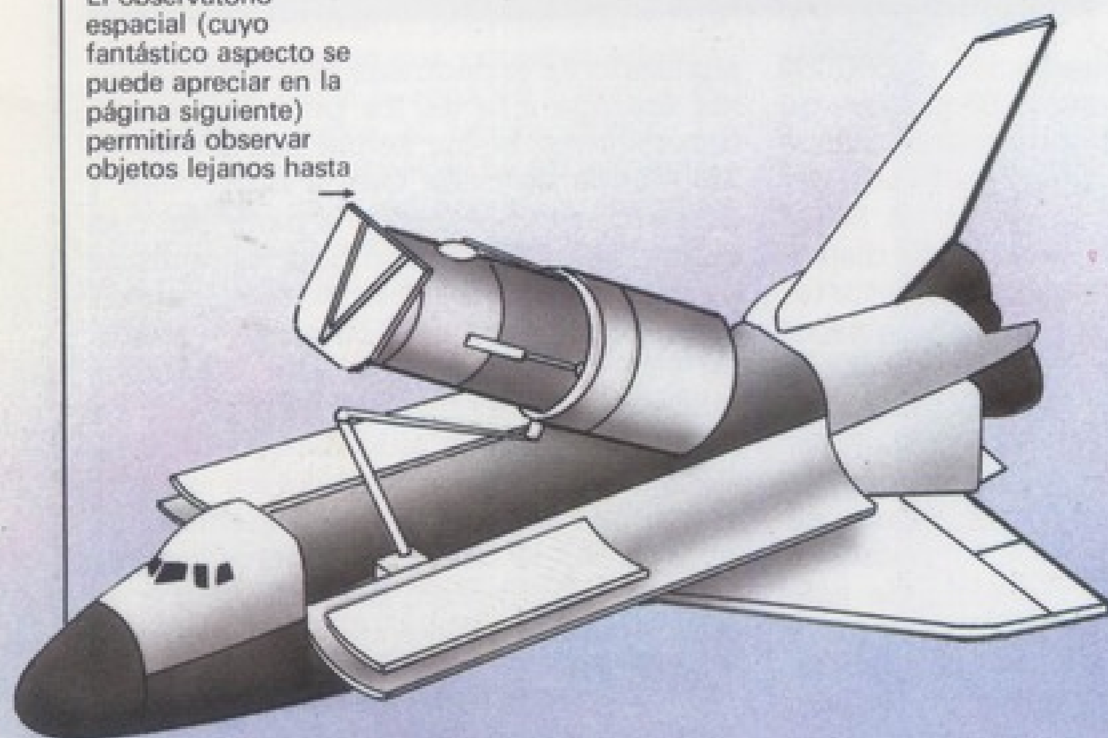
Durante los últimos treinta años, y a un ritmo casi sorprendente, los astrónomos han ido descubriendo regiones enteras de nuestra galaxia que antes eran completamente desconocidas y, paralelamente, se han ido elaborando mapas astrales cada vez más completos. Todavía, sin embargo, estos científicos se hallan en una situación muy primaria, similar a la de los primeros exploradores que desembarcaron en las Américas, y aunque han conseguido establecer una sólida posición sobre nuevas y lejanas fronteras, se encuentran aturdidos por la aplastante sensación de misterio que estas abismales regiones les sugieren.

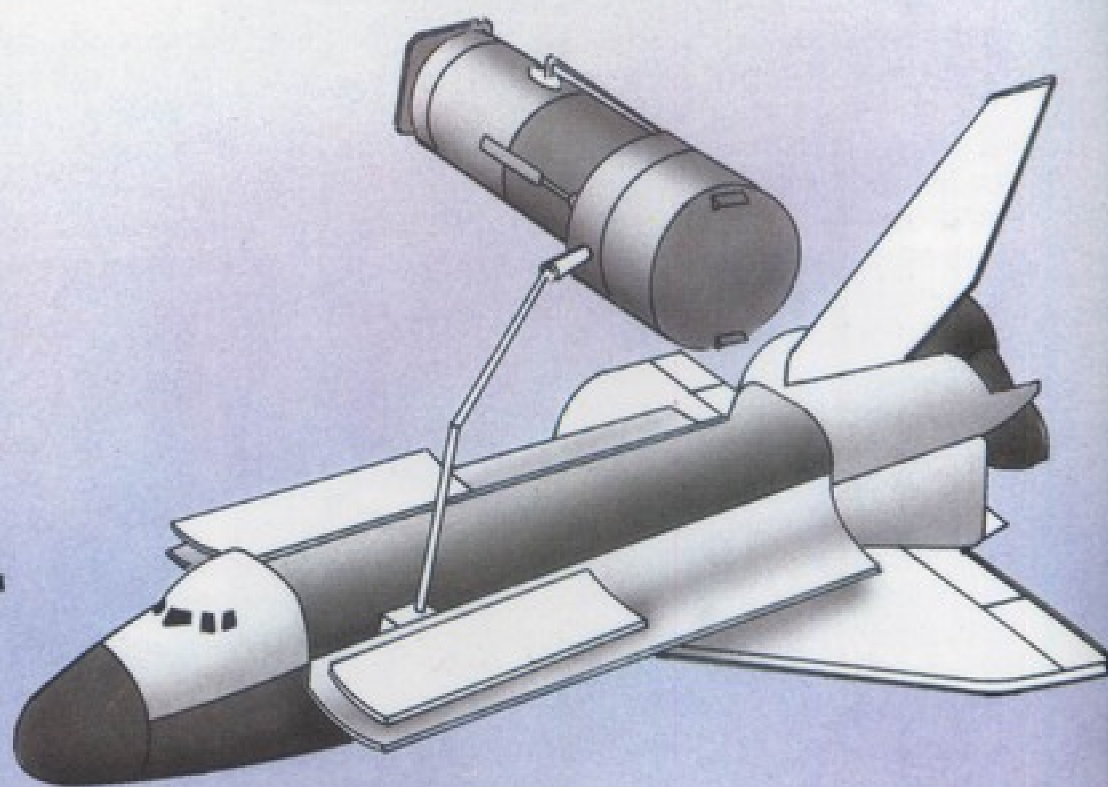
Todos los astrónomos, incluso los que trabajan en los grandes observatorios, se encuentran con una gran desventaja debido a las enormes limitaciones de los telescopios terrestres, que solamente les proporcionan una visión parcial y, a menudo, deformada del Universo. Las condiciones en que se desarrolla la observación espacial desde la Tierra no son, ni mucho menos, las ideales; incluso para los más sofisticados telescopios, las impurezas y los efectos de distorsión de la atmósfera impiden conseguir una nítida imagen de la bóveda celeste. Además, los astrónomos deben prestar especial atención a que tanto la luz de la Luna como los resplandores de las ciudades no afecten sus campos de visión. Finalmente, la gran abundancia de polvo y gases en la atmósfera dispersa la luz, especialmente en algunas longitudes de onda, deformando en algunos casos y obscureciendo en otros amplias regiones del espacio. Esta distorsión atmosférica es, en parte, la responsable, por ejemplo, del "parpadeo" de las estrellas. Muchos de estos problemas podrían ser resueltos mediante la colocación de nuevos y potentes telescopios en el espacio. La puesta en órbita de los observatorios espaciales ha dado inicio a una nueva era en la observación del Universo, y muy pronto pondrán al alcance de nuestros ojos esas extensas zonas situadas más allá de los actuales límites de observación. En principio, los observatorios espaciales han hecho visible, por primera vez, la cara oculta de la Luna. Además, las observaciones realizadas desde el espacio son de mayor calidad que las realizadas mediante telescopios terrestres, ya que se consigue una mayor nitidez y se amplía el espectro de la luz al no existir prácticamente absorción por parte del medio.

Casi desde los comienzos de la llamada *era espacial*, los satélites artificiales fueron equipados con instrumentos de observación astronómica. La primera estación espacial puesta en órbita, dentro del programa espacial americano *Skylab*, el 14 de mayo de 1973, llevaba a bordo el telescopio *Apolo*. Los satélites orbitales de observación solar, la sonda internacional para *UV*, los observatorios astronómicos de alta energía, el satélite astronómico *IR*, y muchos otros, fueron equipados con gran cantidad de instrumentos de observación astronómica.



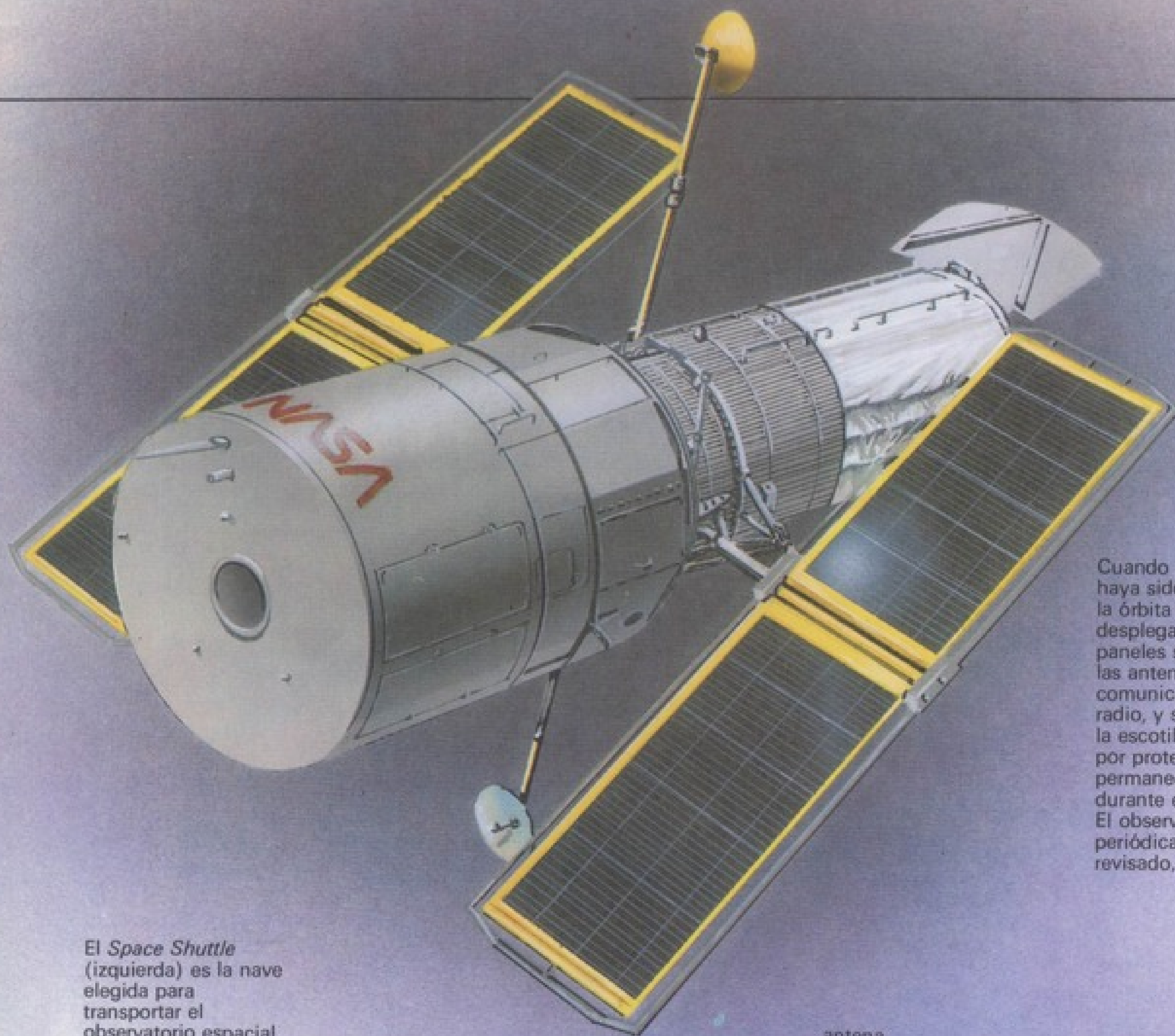
En el esquema de la izquierda se puede apreciar hasta qué punto la absorción atmosférica de la radiación electromagnética limita las posibilidades de aprovechamiento de los instrumentos astronómicos terrestres al campo visible. Las radiaciones correspondientes a las zonas infrarroja y ultravioleta del espectro son, por el contrario, casi totalmente bloqueadas. El contorno superior de las zonas coloreadas facilita, para cada longitud de onda, la altura bajo la cual ya no puede ser captada.





El observatorio espacial (cuyo fantástico aspecto se puede apreciar en la página siguiente) permitirá observar objetos lejanos hasta distancias del orden de 14 billones de años luz. Con este tipo de observatorios será posible, de hecho, la realización de observaciones que actualmente son impracticables debido a la barrera que supone la atmósfera terrestre.

El ojo de la NASA en el cielo La NASA tiene el proyecto de poner en órbita dentro de los próximos años un nuevo telescopio espacial, el más poderoso instrumento astronómico que jamás haya sido construido. Este telescopio será elevado a una altura de 500 km por una nave espacial, que posteriormente lo situará en órbita. El telescopio, con un peso de casi 10 toneladas, constituido por un cilindro metálico de casi 13 m de longitud y 4,25 m de diámetro, estará equipado con dos paneles solares exteriores, encargados de suministrarle la energía. Al ser de tipo re-



El observatorio espacial (izquierda) permitirá quizás hallar respuesta al fascinante interrogante que durante siglos ha constituido el Universo en que vivimos.

Cuando el observatorio haya sido situado en la órbita calculada, se desplegarán los paneles solares, las antenas de comunicación por radio, y se abrirá la escotilla que por protección había permanecido cerrada durante el viaje. El observatorio será periódicamente revisado, aprovechando las frecuentes expediciones del transbordador espacial: de esta forma será posible acceder a él en casos eventuales (mantenimiento, reparaciones y sustitución de piezas). Está previsto que, tras una permanencia de cinco años en el espacio, el observatorio sea traído de vuelta a la Tierra.

El *Space Shuttle* (izquierda) es la nave elegida para transportar el observatorio espacial hasta una altura de 500 km, donde será desembarcado mediante un brazo mecánico y podrá, así, iniciar su desplazamiento orbital.

antena de radio

escotilla de abertura

espejo secundario

panel solar

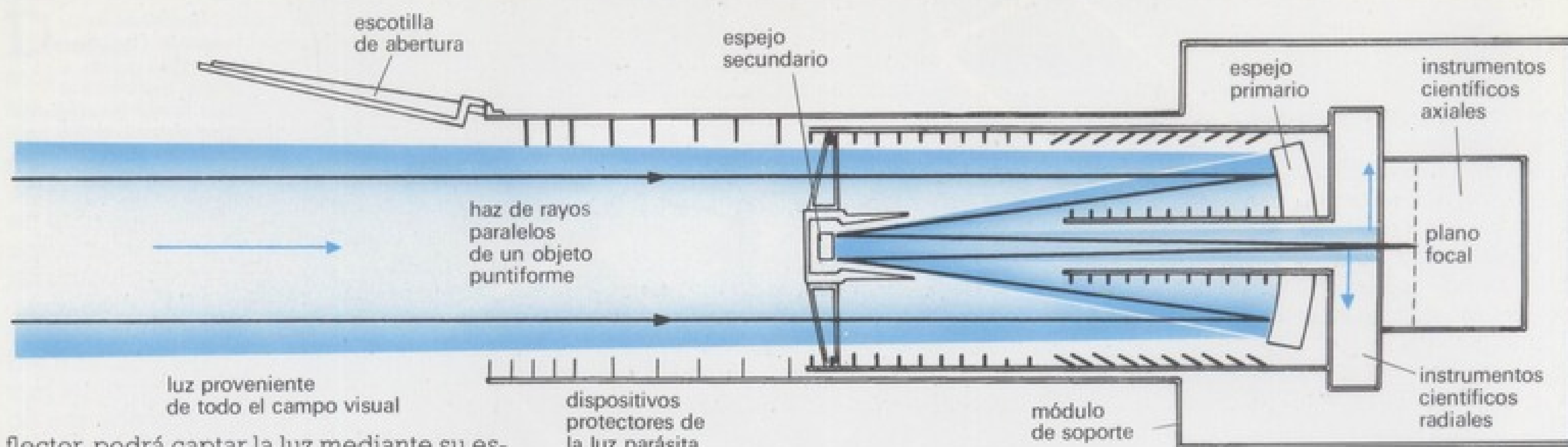
módulo de soporte

espejo primario

instrumentos científicos axiales

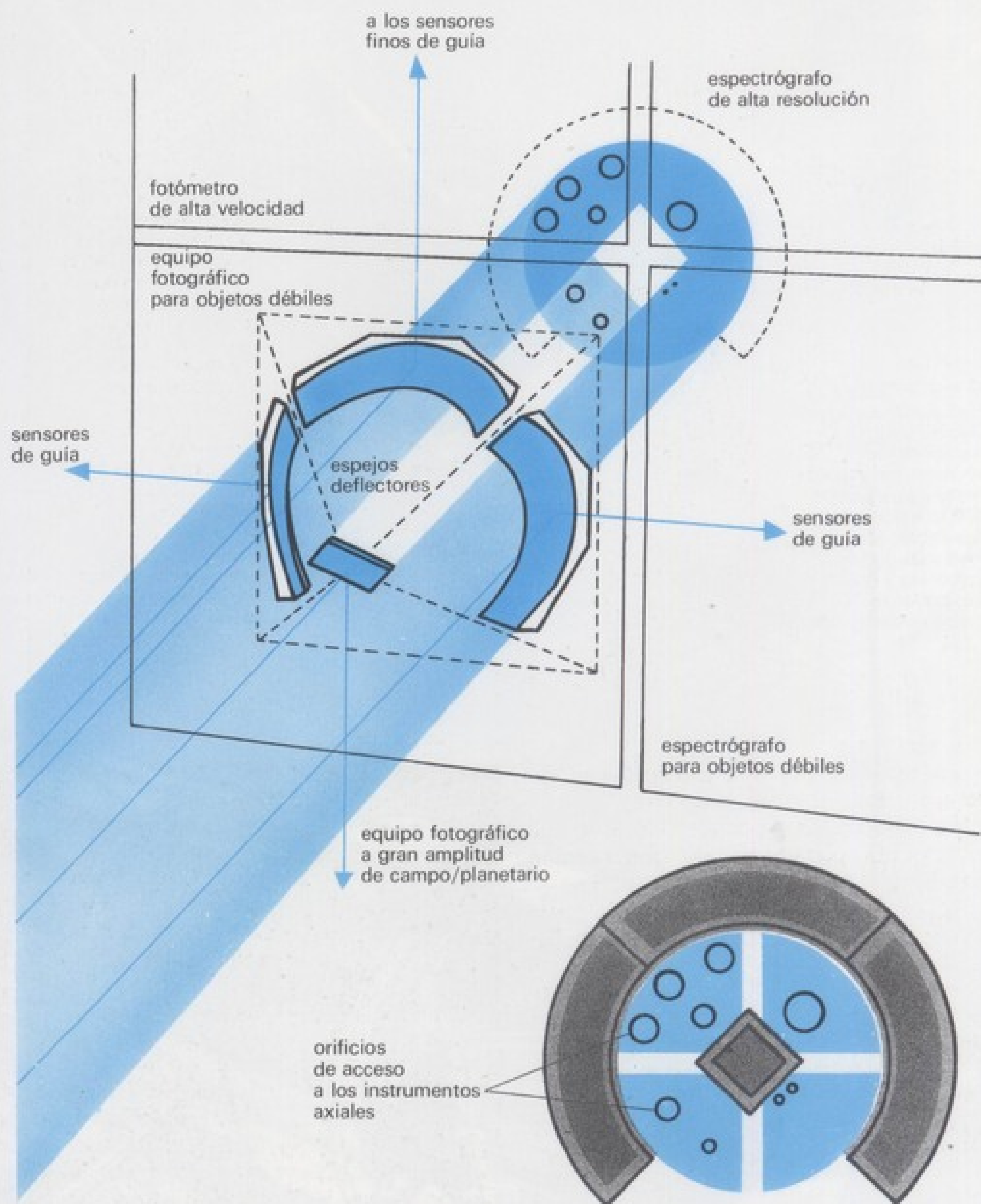
instrumentos científicos radiales

Visión esquemática del observatorio espacial. La longitud del cuerpo cilíndrico es de casi 13 metros, mientras que el diámetro llega a alcanzar los 4,5 metros. Todos los instrumentos científicos que lleva a bordo han sido proyectados de forma que, en caso de avería, puedan ser sustituidos sin alterar la trayectoria orbital.



flector, podrá captar la luz mediante su espejo principal de 2,44 m de diámetro y, gracias a su forma cóncava, reflejarla y concentrarla sobre un espejo convexo secundario, más pequeño y situado frente al primero. Tras una nueva reflexión sobre este espejo, el haz de luz será dirigido a través de un agujero, ubicado en el espejo primario, hacia una serie de instrumentos científicos que lo analizarán. Dos espectrómetros analizarán la composición y propiedades químicas del astro emisor, mientras que un fotómetro medirá la intensidad de la luz. Las computadoras convertirán estas informaciones en señales e impulsos electrónicos, que serán enviados a la Tierra a través de satélites repetidores. Los ordenadores de la NASA reconvertirán estas señales en imágenes, que podrán ser proyectadas sobre pantallas de televisión de alta resolución, proporcionando de esta manera a los científicos espaciales cantidades ingentes de información sobre nuestra galaxia y otras estrellas. Este supertelescopio orbital podrá situar bajo nuestra mirada objetos muy lejanos, y con un poder de resolución diez veces superior al conseguido hoy en día por los observatorios ópticos terrestres. Se podrá examinar más minuciosamente el Universo y descubrir cuerpos celestes cuyas emisiones sean cincuenta veces más débiles que las captadas en la actualidad.

Las nuevas percepciones del Universo Las posibilidades potenciales de un telescopio espacial son enormes. Los expertos en el campo de la Astronomía afirman que podrá captar la luz emitida por estrellas situadas a 14.000 años-luz de distancia, es decir, de emisiones de energía que datan de los orígenes del Universo. Esto supondría una valiosa ayuda de cara a comprender la extensión —en espacio y tiempo— del Universo, así como a elaborar nuevas interpretaciones sobre su estructura y evolución. Podría también facilitar a los astrónomos la localización de posibles sistemas planetarios en torno a otras estrellas, empresa ésta que ha sido realizada con resultados muy polémicos y dudosos mediante los usuales telescopios terrestres. También sería posible determinar con mayor precisión las distancias de las lejanas galaxias, además de proporcionarnos una más exhaustiva información sobre los planetas y satélites que constituyen nuestro Sistema Solar.



Esquema óptico del observatorio espacial: la luz proveniente del espejo cóncavo principal es nuevamente reflejada por el espejo convexo secundario y, a través de un agujero ubicado en el centro del primer espejo, es dirigida al plano focal situado en la sección instrumental, tras el espejo principal. Arriba está representado detalladamente este instrumental: la luz es desviada en diferentes direcciones mediante una serie de pequeños espejos, llamados "deflectores", que se hallan situados cerca de los instrumentos científicos. De esta forma, la luz alcanza el equipo fotográfico, de gran amplitud de campo/planetario, y los "sensores finos de guía". En el plano focal, el campo de visión alcanza un diámetro angular con una amplitud de 28 minutos de arco. El sistema fotográfico de gran amplitud de campo/planetario está capacitado para abarcar una región cuadrada de hasta 3 minutos de arco de lado, situada en el centro del campo de visión. El resto de éste puede ser observado mediante cuatro instrumentos montados a lo largo del eje. Las partes más externas se alcanzan mediante un sistema de "guía fina".

Por otra parte, el acceso y la toma de imágenes de las abismales profundidades del espacio facilitarían la comprensión de grandes enigmas cósmicos, como los pulsares, los agujeros negros, las gigantes rojas y los quasares. Son muchas las aplicaciones prácticas de los conocimientos obtenidos mediante la observación espacial. Así, por ejemplo, a la vista de las extraordinarias fuentes de energía existentes en el Universo, se abre la posibilidad de reproducirlas artificialmente en la Tierra. Se podría aprender mucho sobre las colosales producciones de energía durante las explosiones solares y sobre las emisiones energéticas de rayos X desde las estrellas, por citar algunos ejemplos.

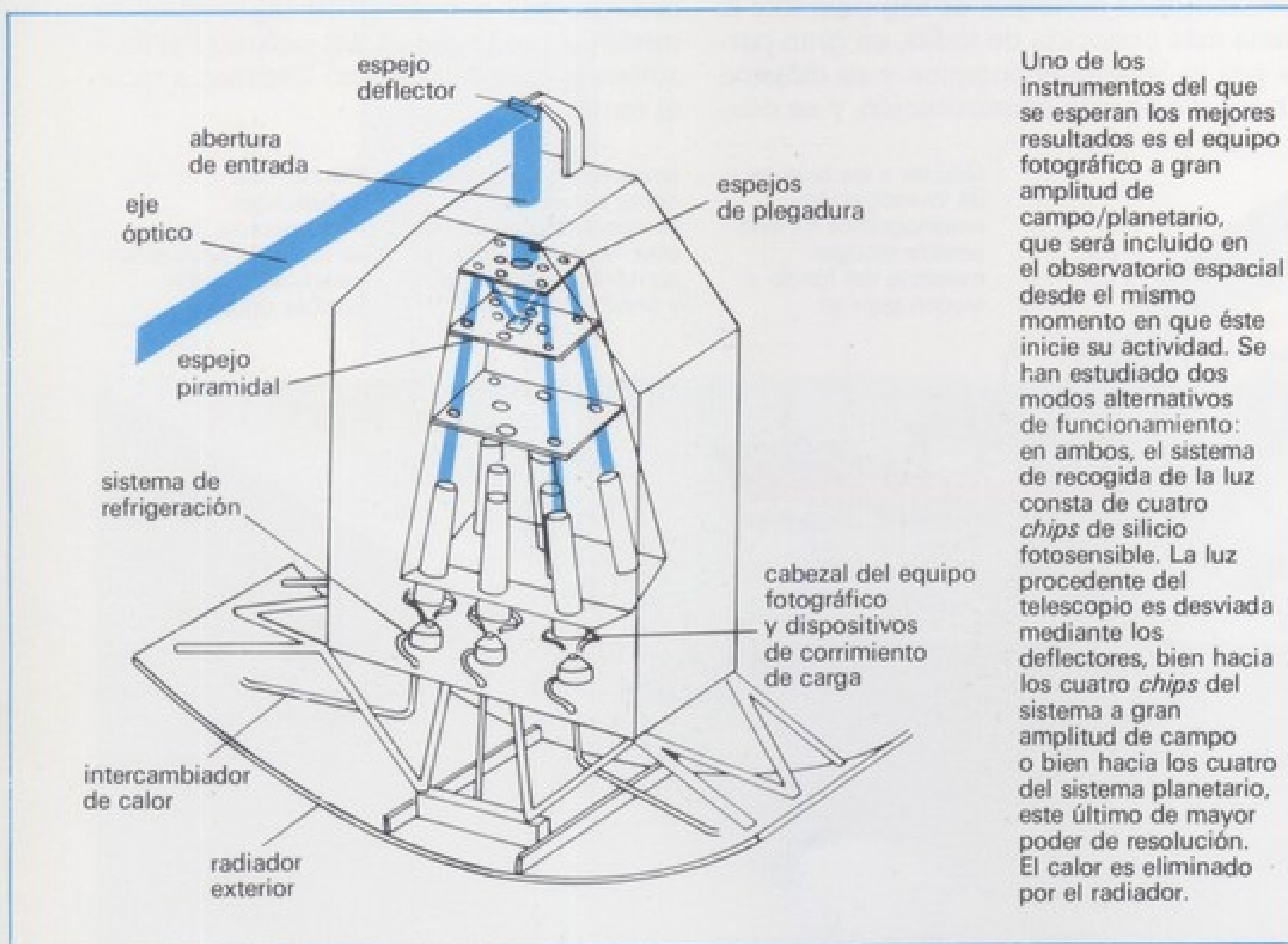
Los telescopios espaciales han sido una privilegiada plataforma de observación cuando no hace mucho, entre finales de 1985 y principios de 1986, el cometa Halley pasó por las proximidades de la Tierra. Los rastros de sustancias químicas abandonados por este maravilloso fenómeno cósmico pudieron ser casi microscópicamente observados por el telescopio y el resto de los instrumentos, siendo estos datos retransmitidos a la Tierra para un posterior análisis. De este experimento y del estudio de los valiosos datos aportados, pueden salir respuestas al profundo misterio que, desde los primeros pasos de la observación astronómica, rodea el origen de los cometas: ¿son simplemente restos de nuestro Sistema Solar, o tienen su origen en el espacio, siendo entonces residuos supervivientes de aquella monstruosa explosión que, suponemos, fue el origen del Universo?

De las especulaciones imaginativas a los hechos La idea de los observatorios espaciales fue concebida ya en 1923 por Hermann Oberth, pero cayó en el olvido al ser calificada de irrealizable por sus colaboradores científicos. Sin embargo, el sueño de Oberth pasó a hacerse realidad a finales de los años cincuenta e inicios de los sesenta, período en el que se iniciaron las primeras exploraciones espaciales. En 1958, un aerostato que transportaba un telescopio reflector de 40,6 cm, un espectrógrafo y un instrumento automático para el levantamiento cartográfico estelar, fue lanzado, mediante un cohete, a una altura de 26 km sobre la superficie terrestre.

En los años sesenta, la carrera espacial entre Estados Unidos y la Unión Soviética dio lugar a un incremento del interés científico por las estrellas: numerosas sondas, satélites y otros vehículos espaciales, equipados con sofisticados instrumentos científicos, fueron enviados a lo largo de todo el Sistema Solar. En 1972, la NASA puso en órbita el observatorio *Copérnico*, el último y más importante de un grupo de tres observatorios astronómicos orbitales. El *Copérnico* estaba equipado con un telescopio reflector de 81 cm, con el que se realizaron miles de observaciones sobre fuentes celestes de luz ultravioleta; aunque su potencia visual quede minimizada si la comparamos con la del telescopio —ya mencionado— que la NASA enviará próximamente al espacio, el *Copérnico* proporcionó resultados de gran valor científico para su época.

Examinando cuidadosamente las imágenes y representaciones estelares obtenidas por el *Copérnico*, los científicos espaciales pudieron descubrir que las grandes extensiones interestelares contenían regiones de gas denso y nubes gaseosas, y que éstas podrían perfectamente ser núcleos —en estado primario— de formación de nuevas estrellas.

Véase **Astronomía; Observatorio astronómico; *Skylab*; Telescopio y radiotelescopio; Universo**



Uno de los instrumentos del que se esperan los mejores resultados es el equipo fotográfico a gran amplitud de campo/planetario, que será incluido en el observatorio espacial desde el mismo momento en que éste inicie su actividad. Se han estudiado dos modos alternativos de funcionamiento: en ambos, el sistema de recogida de la luz consta de cuatro *chips* de silicio fotosensible. La luz procedente del telescopio es desviada mediante los deflectores, bien hacia los cuatro *chips* del sistema a gran amplitud de campo o bien hacia los cuatro del sistema planetario, este último de mayor poder de resolución. El calor es eliminado por el radiador.



Los cada vez más sofisticados instrumentos científicos nos van acercando progresivamente a la solución del enigma del origen del Universo y de las raíces de nuestra propia existencia, y lo hacen al descubrirnos cada vez mejor la verdadera esencia de todo lo que nos rodea.

Oceanografía

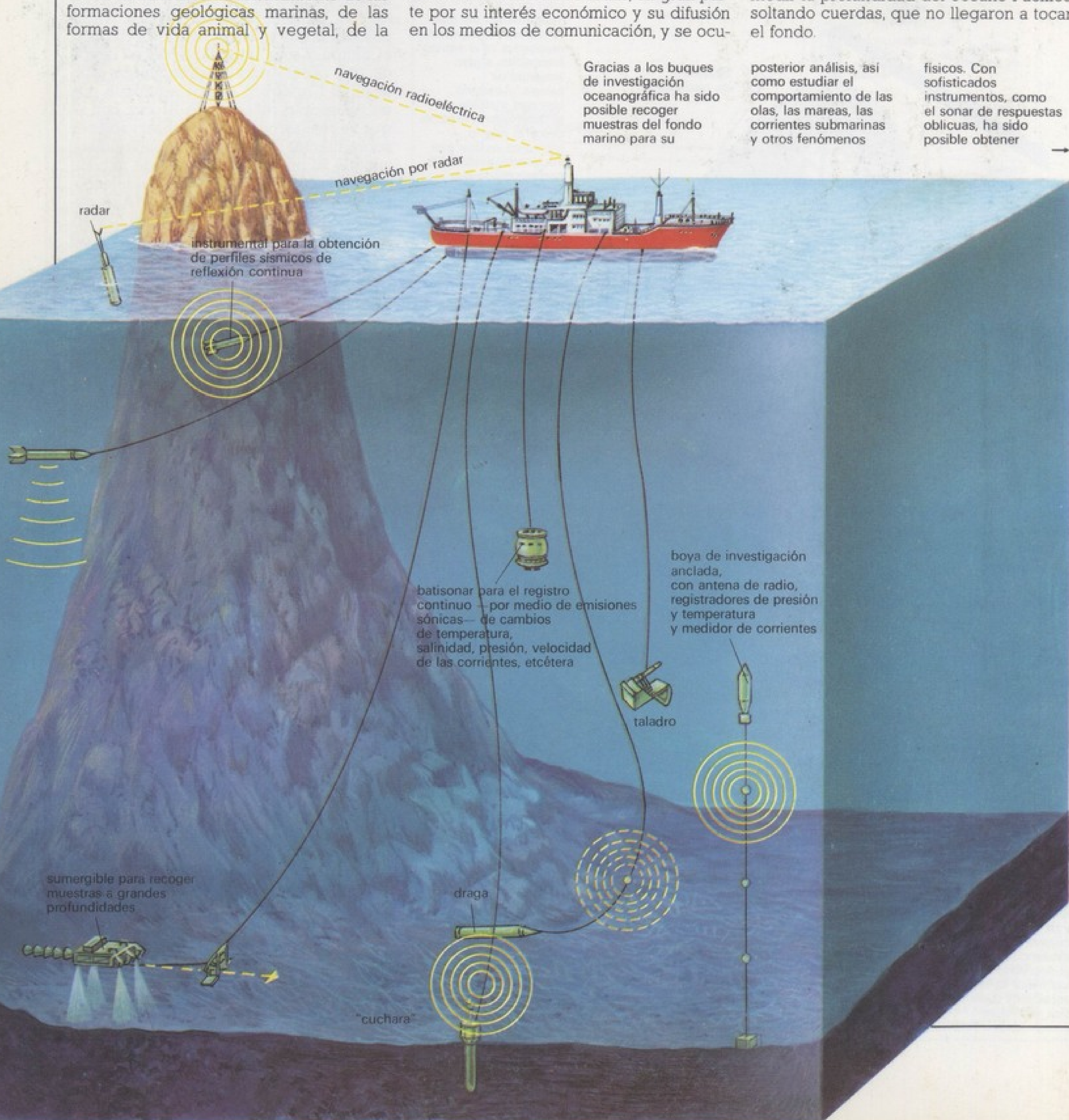
Desde algunos puntos de vista, el estudio de los océanos puede compararse con el estudio del espacio. Los dos ambientes constituyen medios profundos, en cierto modo esotéricos, y aún insuficientemente conocidos.

Los mares y océanos cubren un 71% de la superficie del planeta y presentan una profundidad media de 3.817 metros. El volumen de agua total es aproximadamente de 197.000 millones de kilómetros cúbicos. Lo mismo que en un viaje espacial, el hombre necesita un equipo adecuado para permanecer en el medio acuático.

Bajo las masas de agua de los océanos existen relieves montañosos que en ocasiones superan en altura a los existentes en los continentes. El conocimiento de las formaciones geológicas marinas, de las formas de vida animal y vegetal, de la composición química y mineralógica constituye el objetivo de la Oceanografía.

Oceanografía La ciencia oceanográfica está dividida en varias ramas estrechamente relacionadas entre sí, cuyo fin se centra en el estudio de los mares y océanos en sus diversos aspectos. La Oceanografía física se ocupa de las características físicas del ambiente oceánico: mareas, corrientes, oleaje, influencias mutuas entre atmósfera y masas de agua oceánicas, etc. La Oceanografía química estudia la composición química del agua, así como las reacciones químicas que tienen lugar en ella, el origen de las sales marinas, etc. La Oceanografía biológica es seguramente la rama más conocida de todas, en gran parte por su interés económico y su difusión en los medios de comunicación, y se ocupa del estudio de las formas de vida marinas en todos sus aspectos: el ciclo vital de las especies, los factores ecológicos de que dependen, etc. Por último, la Oceanografía geológica investiga los aspectos del relieve marino: formación de playas, estudio del fondo oceánico, origen de los cañones submarinos, y, en general, la historia geológica que ha determinado la actual distribución de los mares y océanos.

El viaje del *Challenger* A pesar del contacto constante del hombre con el mar, hasta el siglo XIX no tuvieron lugar los primeros sondeos marinos, aunque ya Fernando de Magallanes, durante su viaje alrededor del mundo (1519-1521), trató de medir la profundidad del océano Pacífico soltando cuerdas, que no llegaron a tocar el fondo.



Gracias a los buques de investigación oceanográfica ha sido posible recoger muestras del fondo marino para su posterior análisis, así como estudiar el comportamiento de las olas, las mareas, las corrientes submarinas y otros fenómenos físicos. Con sofisticados instrumentos, como el sonar de respuestas oblicuas, ha sido posible obtener →





El *Glomar Challenger*, que en la foto superior puede verse navegando, es uno de los buques mejor dotados para el estudio oceanográfico. Está equipado con un sofisticado instrumental que posibilita la realización de perforaciones y recogida de muestras del fondo marino, y a bordo lleva instalado un completo laboratorio de análisis.

B. M. Cita

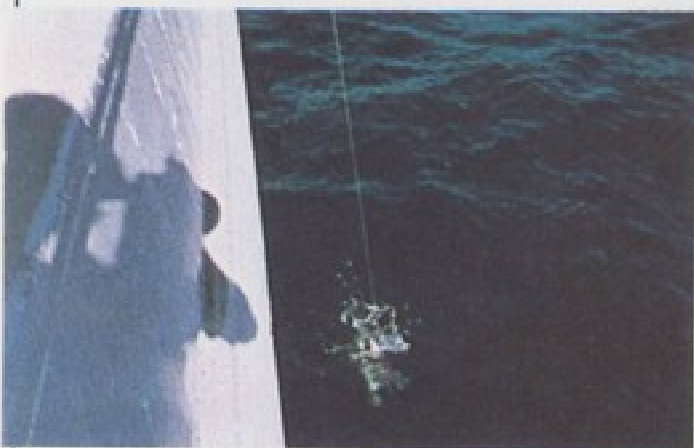


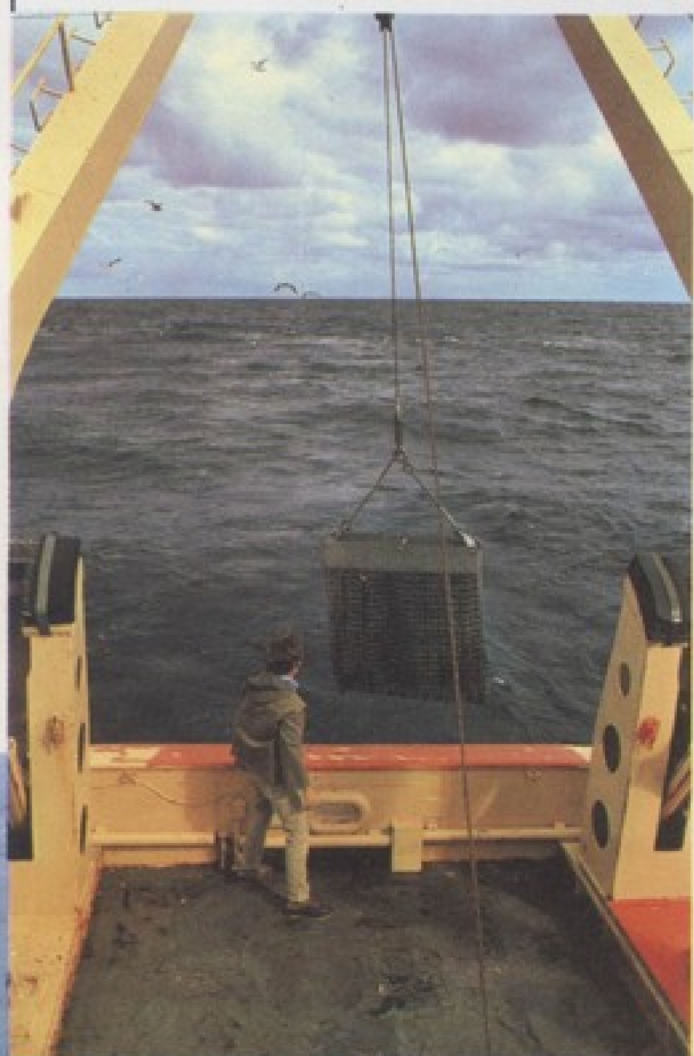
El 21 de diciembre de 1872 zarpó del puerto inglés de Portsmouth el *Challenger*, un pequeño velero de 2.300 toneladas equipado con un sistema auxiliar para navegar a vapor. Regresó del viaje tres años y medio después de su partida. La finalidad de su travesía era el sondeo de "los siete mares" y la recolección de cuantos datos químicos, físicos o biológicos pudiera obtener. Los logros del *Challenger* fueron enormes. Se determinaron algunas características del relieve oceánico; también se iniciaron las primeras investigaciones de las corrientes marinas, y se observó que existían estratos bien definidos, con temperatura y salinidad prácticamente constantes a lo largo de ellos. Otro fenómeno demostrado fue que la variedad biótica de los mares era mucho mayor de lo que se había pensado. Los datos aportados por el *Challenger* impulsaron el desarrollo de la moderna Ecología marina, al intuir las interrelaciones existentes entre todos los factores marinos, desde los que afectan a los microscópicos foraminíferos hasta los que rodean a los grandes mamíferos marinos.

Exploraciones submarinas Durante las últimas décadas, gran parte de la exploración de nuestro planeta se ha centrado en el estudio del fondo oceánico. La enorme extensión oculta bajo el mar está siendo investigada y cartografiada con la ayuda de diversos instrumentos, como el

→ "fotografías" del fondo marino. El diseño de pequeños submarinos de investigación para inmersiones profundas ha permitido una exploración directa del fondo oceánico. La presencia de laboratorios de análisis posibilita el estudio inmediato de las muestras recogidas. En la figura que ocupa la mitad de la página anterior pueden verse representados algunos de los instrumentos más útiles en la investigación oceanográfica. Uno de los avances más importantes ha sido la posibilidad de navegar con precisión. Un barco que se encuentre a 1.000 kilómetros de tierra puede fijar su posición con mucha exactitud. Las técnicas que hacen esto posible se valen de satélites puestos en órbita, sistemas de navegación inercial y una gran diversidad de aparatos electrónicos basados en la comparación de fases de onda hertzianas (radionavegación). Para la recogida de muestras pueden utilizarse dragas, "cucharas" y hasta taladradores automáticos. Un logro importante ha sido la construcción de submarinos para grandes profundidades. Sobre estas líneas puede verse un mapa batimétrico (que representa el relieve del fondo marino), utilizado como punto de partida para muchos estudios.









Las dragas y las "cucharas" se utilizan para recoger los sedimentos más superficiales, que no sobrepasen un metro de espesor. La "cuchara", que en la foto superior se encuentra en las primeras fases de inmersión, se posa sobre el fondo marino y se cierra con un dispositivo que impide salir a la muestra recogida. La draga está constituida por un tejido especial que tiene incorporada una red metálica, que se arrastra por el fondo. Sobre estas líneas, varios organismos bentónicos en su ambiente natural.



B. M. Cita



La foto de la izquierda muestra un momento de la recogida de material del fondo marino por medio de dragas. En la foto inferior puede verse una red para la captura de animales bentónicos (organismos de dimensiones relativamente grandes, capaces de moverse libremente como los →

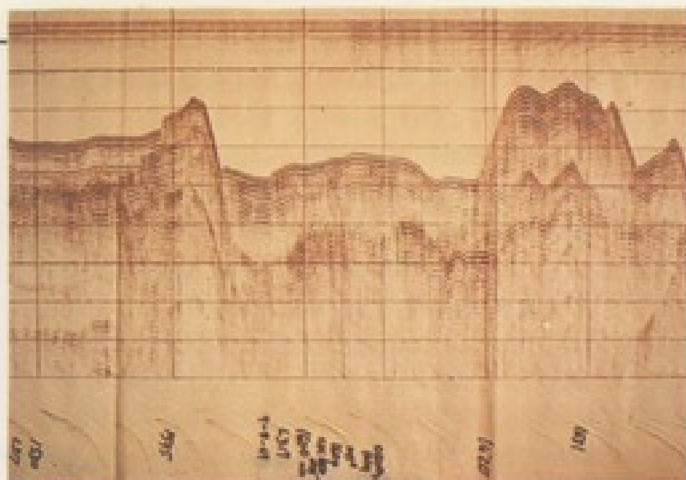


sonar. Si los océanos se "vaciaran", ofrecerían un paisaje tan variado como el terrestre: montañas más altas que el Everest, extensas llanuras y enormes desfiladeros o cañones. La Geología oceánica se encuentra en una etapa revolucionaria, que ha comenzado apenas hace quince años. Todos los datos reunidos hasta ahora están siendo interpretados de acuerdo con la teoría de la "deriva de los continentes", junto con las nociones de "expansión del suelo oceánico" y la aceptación de que la corteza terrestre está formada por placas que se crean en unas zonas y se destruyen en otras. Se acepta que la topografía continental es producto, principalmente, del modelado fluvial, erosión del viento, etc. En cuanto a las fuerzas que han provocado relieves similares en el fondo del mar, las investigaciones continúan, y hay varios modelos propuestos. El examen de sedimentos del fondo marino permite en algunos casos datar la fecha de formación de dichos relieves. Los datos obtenidos difieren en función de la profundidad del muestreo. Existe una relación directa entre la naturaleza de las muestras y las características ambientales que existían en el momento de su deposición, lo que permite datar la fecha aproximada de su sedimentac ón.

Algunas formaciones sedimentarias tienen una potencia (o espesor) superior a los 5.500 metros, lo cual dificulta el establecimiento de unas conclusiones precisas. Actualmente, la tecnología marina ofrece recursos que han situado la Oceanografía en uno de sus momentos más revolucionarios. Como ya señalamos, la teoría de expansión del fondo oceánico y tectónica de placas es el punto de partida para interpretar los datos que se obtienen. En cuanto al conocimiento directo del fondo oceánico, el batiscafo y diversos sumergibles adaptados para grandes presiones, como el *Alvin* de la Marina de los Estados Unidos, permiten la observación directa del relieve submarino, así como de las formas de vida que lo habitan.

Origen de los océanos El estudio de la geología marina nos revela la historia de los océanos, y probablemente también hará que conozcamos mejor la historia de los continentes. Antes se pensaba que la corteza terrestre era una capa estable que envolvía al manto fluido. Actualmente todos los datos que proporcionan los diferentes estudios se interpretan de acuerdo con la teoría de la expansión del suelo oceánico, de la deriva de los continentes y de las placas tectónicas. Diferentes técnicas han contribuido al establecimiento de estas teorías: sondeos de las profundidades, estudio de muestras, fotografías del fondo marino, mediciones del flujo térmico y del magnetismo, etcétera.

La teoría de las placas tectónicas postula, en líneas generales, que la corteza terrestre se divide en amplios segmentos que flotan sobre el manto. En las *dorsales oceánicas* se eleva material procedente del manto, material plástico y con temperaturas elevadas, que se solidifica en contacto con el agua y origina dos "placas", las cuales se mueven en sentidos opuestos dejando entre ellas una fisura denominada *centro de expansión*. Las dorsales



U.S. Geological Survey y Woods Hole Oceanographic Inst.

son, por lo tanto, zonas donde se crea corteza oceánica (de ahí la teoría de expansión del suelo oceánico). El borde de la placa más alejado del centro de expansión puede chocar con otra placa adyacente y verse obligado a desviarse hacia abajo y fundirse en la astenosfera. Estas serían zonas de destrucción de placas, también llamadas *zonas de subducción*.

Lentamente, las placas van separándose a partir del centro de expansión, y los continentes, empujados por ellas, se separan también el uno del otro (teoría de la deriva de los continentes.)

Existen varias dorsales. En el océano Atlántico se encuentra la *dorsal centrooceánica*. Esta dorsal tiene una longitud de unos 60.000 kilómetros, y forma una cordillera con una altura media entre 1,6 y 4,8 kilómetros. Es frecuente que a lo largo de la dorsal se den fenómenos volcánicos, creando en ocasiones islas de origen volcánico, como es el caso de las islas Azores, las Bermudas, etcétera.

Ya se ha señalado que cuando dos placas chocan entre sí, una de las dos se hunde, destruyéndose por fusión en la astenosfera. El choque produce fenómenos volcánicos y crea zonas de gran profundidad, denominadas *fosas oceánicas*.

En resumen, la consecuencia más obvia de todo el proceso arriba descrito es una cierta simetría del suelo oceánico a ambos lados del centro de expansión.

Química de los océanos La composición química del agua del mar no es uniforme para todos los mares del mundo. El aporte de sales disueltas procede de diversas fuentes: el agua de lluvia, aportes de los ríos, etc. Un factor a considerar es la solubilidad de los compuestos químicos que se encuentran en el agua, así como la cantidad de compuestos orgánicos existente. No obstante, a causa del enorme volumen de agua de los océanos, las variaciones químicas no son perceptibles a corto plazo.

Las principales diferencias entre el agua dulce y el agua del mar son la distinta composición y concentración de sales, y la naturaleza de los residuos orgánicos. Un importante factor físico a tener en cuenta es la diferencia de presiones. Al contrario de lo que ocurre en el espacio estelar, el mar posee una presión negativa: por cada 10 metros de profundidad aumenta la presión 1 atmósfera, lo cual implica que a la profundidad media del fondo marino existe una presión de unos 420 kilos por centímetro cuadrado.

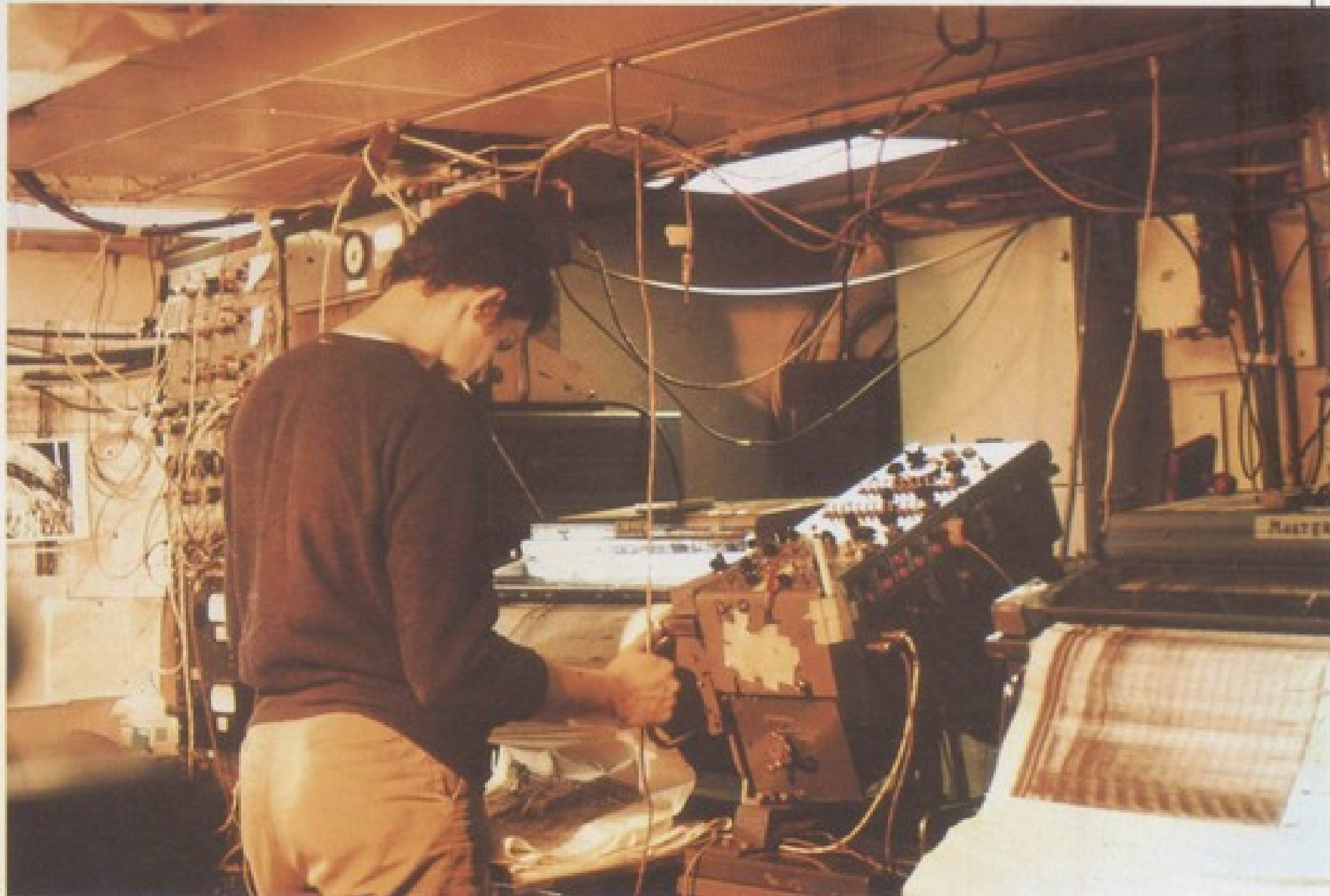
En los últimos cuarenta años, los geoquímicos se han interesado por los procesos químicos del mar que puedan aclarar algo acerca de la historia de la Tierra. La primera pregunta planteada es, al mismo tiempo, simple y compleja: ¿De dónde procede el agua de los océanos? Para tratar de responder existe una serie de hipótesis. En primer lugar, hemos de señalar que la composición actual de la atmósfera y de los océanos terrestres difiere mucho de la que pudieron tener hace millones de años. La composición actual es producto de la acción de factores físicos y químicos sobre las rocas sólidas.

El proceso de formación de los mares ha acompañado probablemente al enfriamiento de la Tierra desde que ésta se formó por acumulación de partículas frías en estado sólido, y posteriormente sufrió un enorme calentamiento debido al colapso gravitatorio.

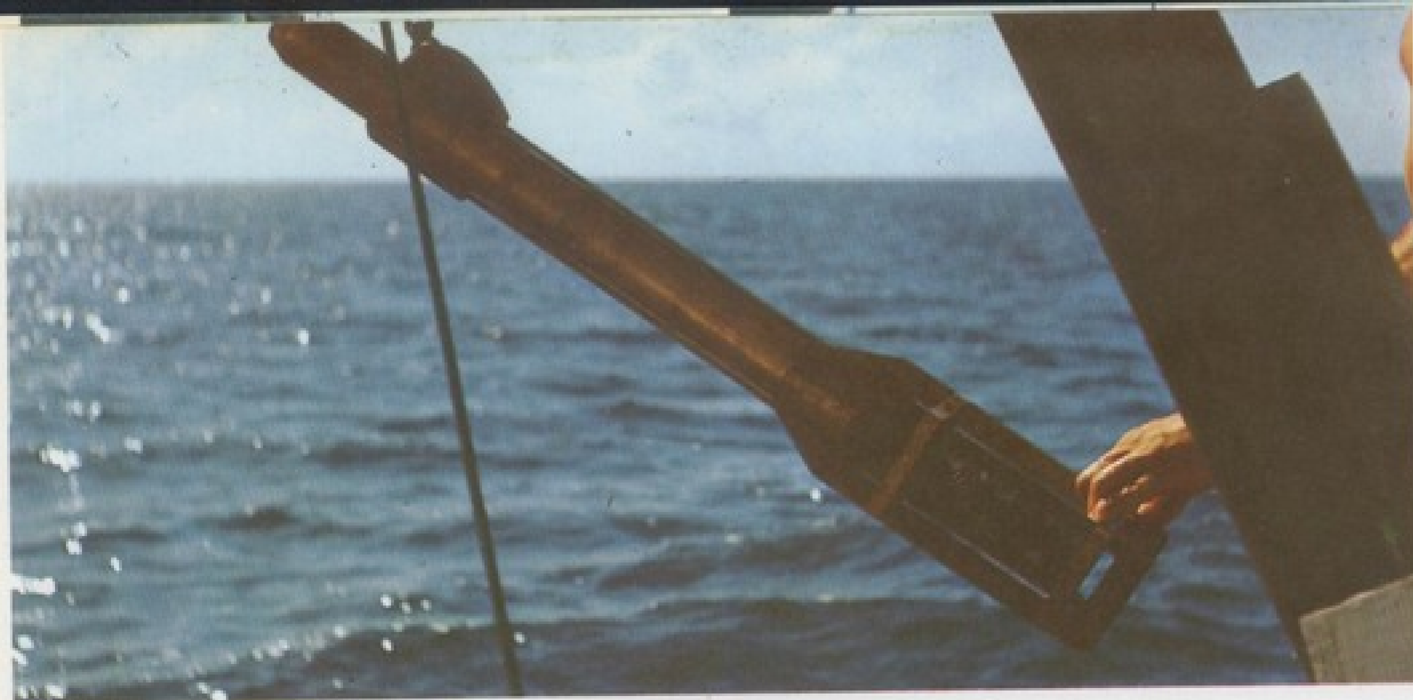
Antes se pensaba que los gases contenidos en el núcleo fluyeron de algún modo al exterior, formando una atmósfera que contenía vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2) y ácido clorhídrido (ClH), entre otros compuestos. Cuando la atmósfera terrestre se enfrió por debajo de los 100 °C, el vapor de agua se condensó formando agua en estado líquido. La teoría postula que se formó un océano de aguas cálidas, que contenían ClH en disolución, y el dióxido de carbono quedó en la atmósfera. Las aguas del océano podrían haber disuelto los minerales de las rocas del sustrato sólido, formando sales minerales, algunas de las cuales precipitarían, sedimentándose en el fondo marino.

Otras teorías postulan esencialmente lo mismo: durante el lento proceso de enfriamiento, el vapor de agua atmosférico se condensó obedeciendo a diversos procesos químico-físicos. En un principio la Tierra estaba desprovista de mar, y en cambio poseía una atmósfera rica en vapor de agua y CO_2 a alta temperatura, algo quizá comparable a la atmósfera que se supone puede haber en Venus.

Hoy las anteriores teorías están prácticamente descartadas. Lo que muchos

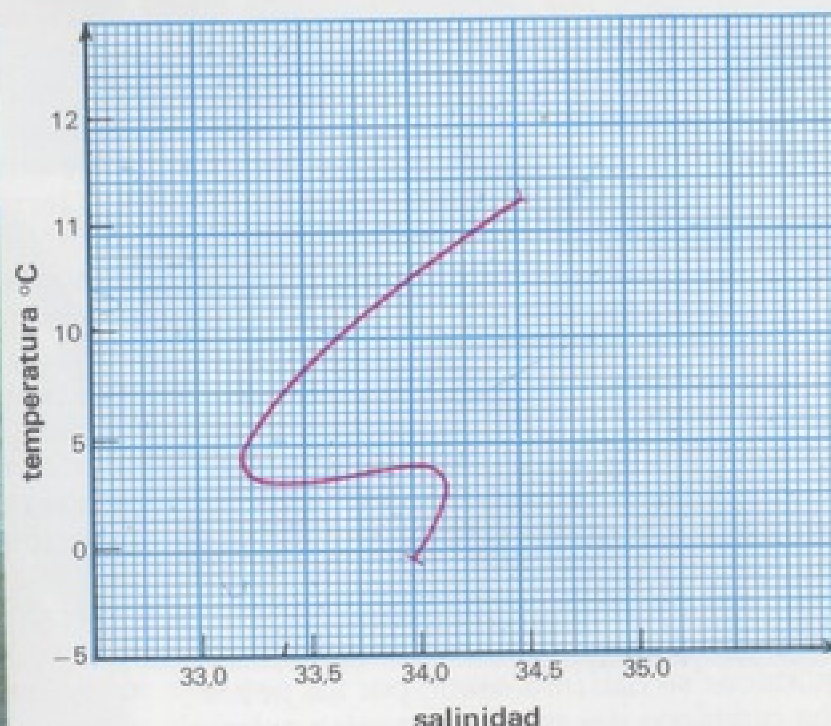


→ peces). Tras su inmersión, la red es recogida por un sistema de cables. Los modernos buques oceanográficos poseen dispositivos que les permiten obtener perfiles del fondo marino. Una vez que el barco se halla estacionado, extiende varios hidrófonos bajo el casco. Estos aparatos reciben las señales de sendos emisores sónicos situados en el suelo oceánico. Las señales son transmitidas a los correspondientes aparatos registradores, como puede observarse en las fotos pequeñas que, una sobre otra, están en el ángulo superior izquierdo de esta página. Sobre estas líneas, un oceanógrafo observa los registros de uno de los aparatos.



Rhodes W. Fairbridge





Las diferencias de salinidad, densidad y presión del agua de mar están directamente relacionadas con la temperatura y la profundidad. Estos factores influyen decisivamente en la creación de corrientes marinas. Los distintos parámetros se miden con boyas de investigación, que recogen y transmiten datos del fondo y zonas superficiales del mar. Uno de los aparatos que pueden estar incluidos en las boyas son las botellas de Nansen (arriba, a la izquierda, se muestra una en el momento de su inmersión). Los datos obtenidos se registran en un diagrama (sobre estas líneas) para obtener la correspondiente curva.

geólogos y geofísicos aceptan actualmente que cuando la Tierra se estaba formando por acumulación de partículas en estado sólido, quizá permaneciera el agua unida a ciertos compuestos, formando silicatos hidratados. Se supone que hace más o menos 4.000 millones de años existió un cataclismo a partir del cual se diferenciaron, según sus densidades, las distintas partes del globo terrestre: núcleo, manto, corteza, atmósfera, etc. Se calcula que el agua liberada durante dicho período oscila entre un 75 y un 90% del volumen actual de los océanos.

La mayor parte de las emanaciones acuíferas de los volcanes es agua subterránea "reciclada", y sólo se libera un 0,5% de "agua juvenil" primigenia (es decir, el agua que estaba unida a la fracción mineral, y que hasta su liberación no había estado nunca en fase líquida). Este agua se encuentra en el basalto que emerge por los centros de expansión de las placas oceánicas (llamados *rift centrooceánicos*). También se libera agua juvenil en volcanes que bordean ciertos márgenes continentales. Estas aguas contienen en solución muchos de los componentes del agua del mar, especialmente aquellos que no se encuentran en aguas que han disuelto rocas de la superficie terrestre, lo que apoyaría esta tesis de formación de los océanos.

Investigación oceanográfica El único modo de recoger el suficiente número de datos que permita abordar teorías como las anteriormente expuestas y analizar las numerosas incógnitas que ofrecen los océanos es permanecer en el océano durante semanas, recogiendo muestras o efectuando análisis en diversas zonas de una determinada área. A veces es necesario permanecer inmóvil en un mismo lugar durante mucho tiempo para que los resultados sean más representativos.

Un buque de investigación oceanográfica debe estar equipado con instrumentos de sondeo, laboratorios de análisis químicos, biológicos, etc. Del mismo modo, sus tripulantes han de ser profesionales de las distintas materias de estudio.

Un ejemplo de la utilidad que puede tener la Oceanografía lo constituye el estudio de los iones que se encuentran formando parte del agua del mar. Por ejemplo, el análisis de la cantidad de ion ferroso Fe^{2+} (ion del hierro en su forma menos oxidada) puede aportar datos acerca del ambiente en que se formó la Tierra, así como apoyar la última hipótesis descrita de formación de los océanos.

El ion ferroso se encuentra en el agua en cantidades muy pequeñas, lo cual es lógico teniendo en cuenta que la atmósfera actual, rica en oxígeno, tiende a transformarlo en ion férrico (Fe^{3+}). Actualmente se piensa que la Tierra se formó a partir de una nube de gas y polvo, que si bien en un principio estaban fríos, la energía gravitatoria que adquirieron al unirse y el calor desprendido por las colisiones entre las partículas hicieron que aumentara el calor en el interior del planeta que comenzaba a formarse. En los primeros millones de años no habría agua ni atmósfera en ese planeta, sino que los gases y el agua estarían atrapados formando parte de las rocas. Al calentarse éstas, los gases y el vapor de agua habrían ido escapando al exterior, formando una atmósfera y unos océanos primitivos. Pero esta atmósfera no era tan rica en oxígeno como la actual, sino que contenía elevadísimas concentraciones de NH_3 (amoniaco) y CH_4 (metano), y posiblemente SH_2 (ácido sulfhídrico). En esas condiciones, el ion ferroso (Fe^{2+}) era perfectamente estable, y se encuentran rocas de aquella época que contienen en su interior concentraciones importantes de ion ferroso.

En la actualidad, los minerales que contienen este ion, como la pirita (S_2Fe), la siderita (CO_3Fe), etc., resultan inestables y se oxidan, cubriéndose de una pátina amarillenta y opaca y perdiendo su brillo. Buscando la concentración del ion ferroso en las aguas del océano, se trata de calcular su edad. Antes eran ricas en él, pero desde que las algas fotosintéticas empezaron a verter oxígeno en la atmósfera (gracias a lo cual nosotros podemos respirar), comenzó la oxidación del Fe^{2+}, pasando a Fe^{3+}, que actualmente abunda más; así pues, se intenta medir cuánto ion ferroso queda para ver cuánto tiempo lleva la atmósfera actuando como agente oxidante del océano.

La tecnología oceanográfica experimenta progresos constantemente, y gracias a ellos se han ampliado los límites de estudio del mar. Uno de los avances más importantes ha sido la construcción de submarinos para grandes profundidades, como el *Trieste*, que superó los 10.000 metros de profundidad. También tiené considerable interés el estudio del fondo de los océanos valiéndose de la televisión y el sonar, junto con sus correspondientes aparatos registradores, que han permitido conocer el fondo del mar de un modo similar a como vemos la superficie terrestre mediante una fotografía aérea.

La vida en el mar La biología oceanográfica es uno de los aspectos más fascinantes del estudio de los mares, por la variedad de formas de vida vegetal y animal que presenta.

Se acepta que el origen de la vida tuvo lugar en el seno de los mares precámbricos. En un ambiente reductor, carente de oxígeno, las primeras bacterias eran organismos quimiosintéticos, capaces de utilizar compuestos inorgánicos —como el ácido sulfhídrico— como fuente de energía. Las bacterias que poseían algún tipo de pigmento fotosensible obtenían la energía necesaria para la síntesis de compuestos orgánicos a partir de la luz solar.

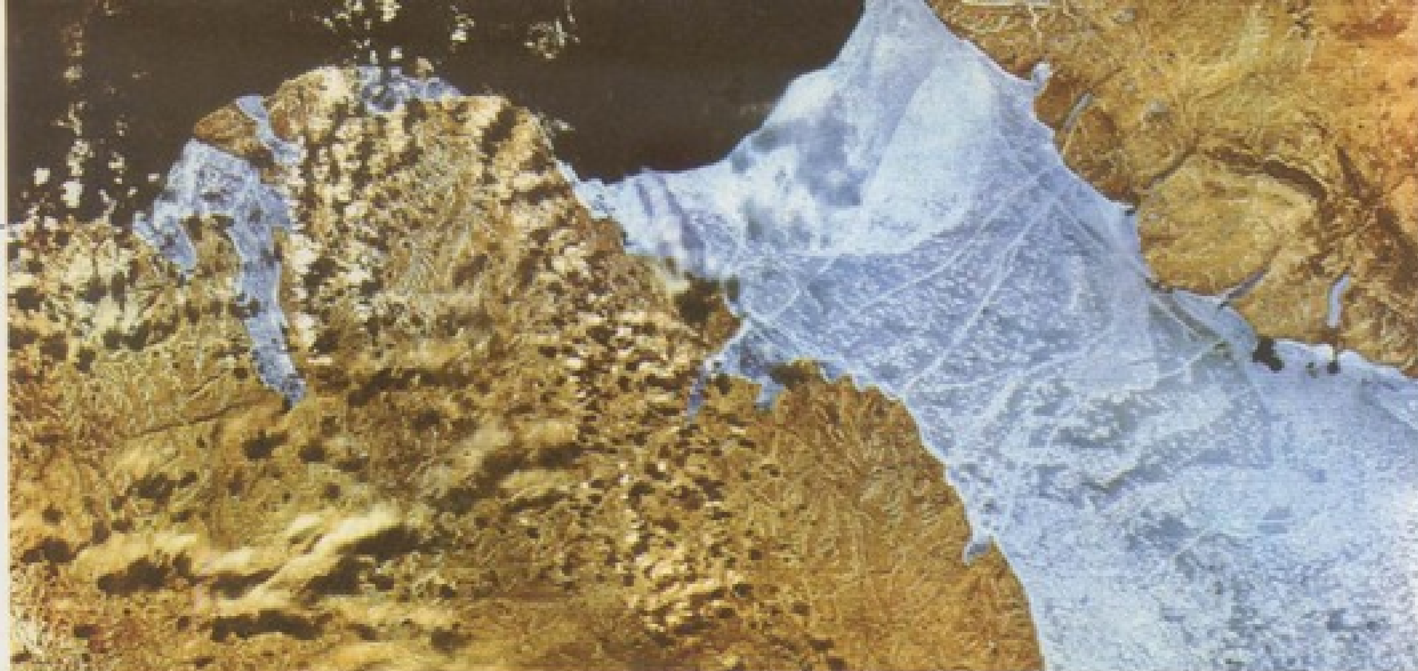
En un principio, todas las formas de vida eran anaerobias. La aparición de oxígeno en la atmósfera fue seguramente consecuencia de la actividad fotosintética de las primeras algas calcáreas. Es evidente que las bacterias anaerobias no podían habitar en los ambientes aerobios, pues el oxígeno es letal para ellas. Se han encontrado restos fósiles de aquellas algas calcáreas en rocas calizas del Arcaico, con una antigüedad de 2.700 millones de años. Otras rocas sedimentarias de una antigüedad aún mayor muestran bacterias fósiles. La edad de estas últimas corresponde a la época en que la atmósfera no contenía oxígeno libre.

La vida marina es más abundante en zonas no profundas del mar. Más del 90% de los materiales orgánicos que abastecen la vida en los océanos se encuentra en las capas iluminadas de las aguas abiertas, y constituye el *fitoplancton*. El *zooplancton* herbívoro se alimenta de estas células vegetales. La cadena trófica continúa: los pequeños peces que se alimentan del zooplancton son presa de depredadores de mayor tamaño, que a su vez son devorados por otros animales más grandes.

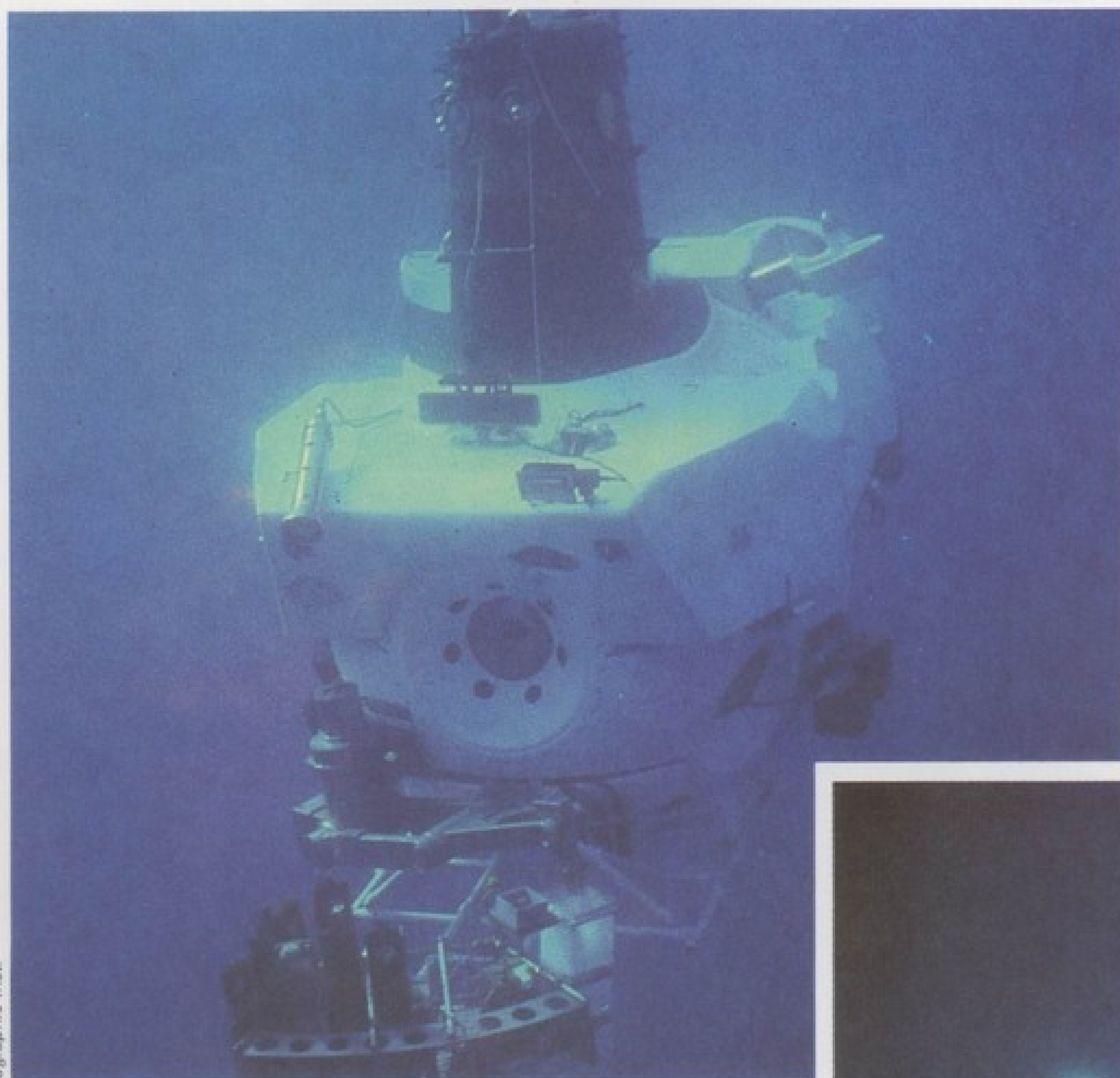
Los desechos de las actividades orgánicas que transcurren en las aguas superficiales se hunden hacia las zonas menos iluminadas, y sirven como fuente de alimento para los extraños habitantes de las profundidades marinas.

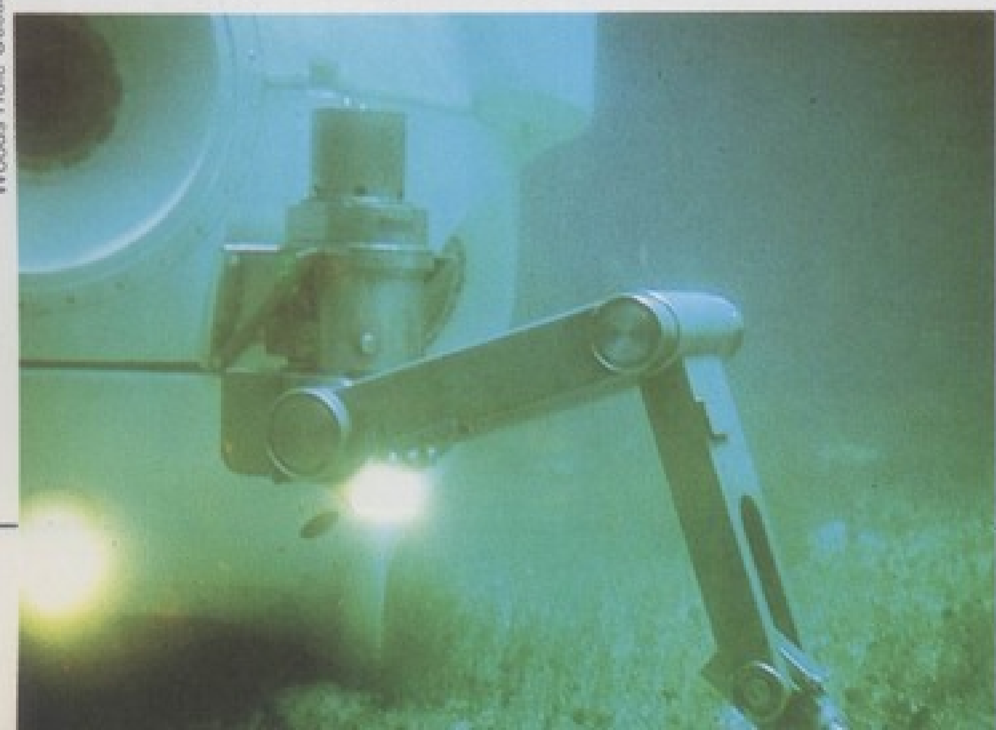
Existe una continua lluvia de detritus que se sedimenta en el fondo marino. Es un fértil abono aprovechado por animales filtradores, detritívoros (que se alimentan del depósito del fondo), y por bacterias. Todo se aprovecha en el océano. El fondo del mar tiene una población relativamente densa de criaturas extrañas y aún poco conocidas, ya que constituye una de las últimas "tierras desconocidas" de nuestro planeta.

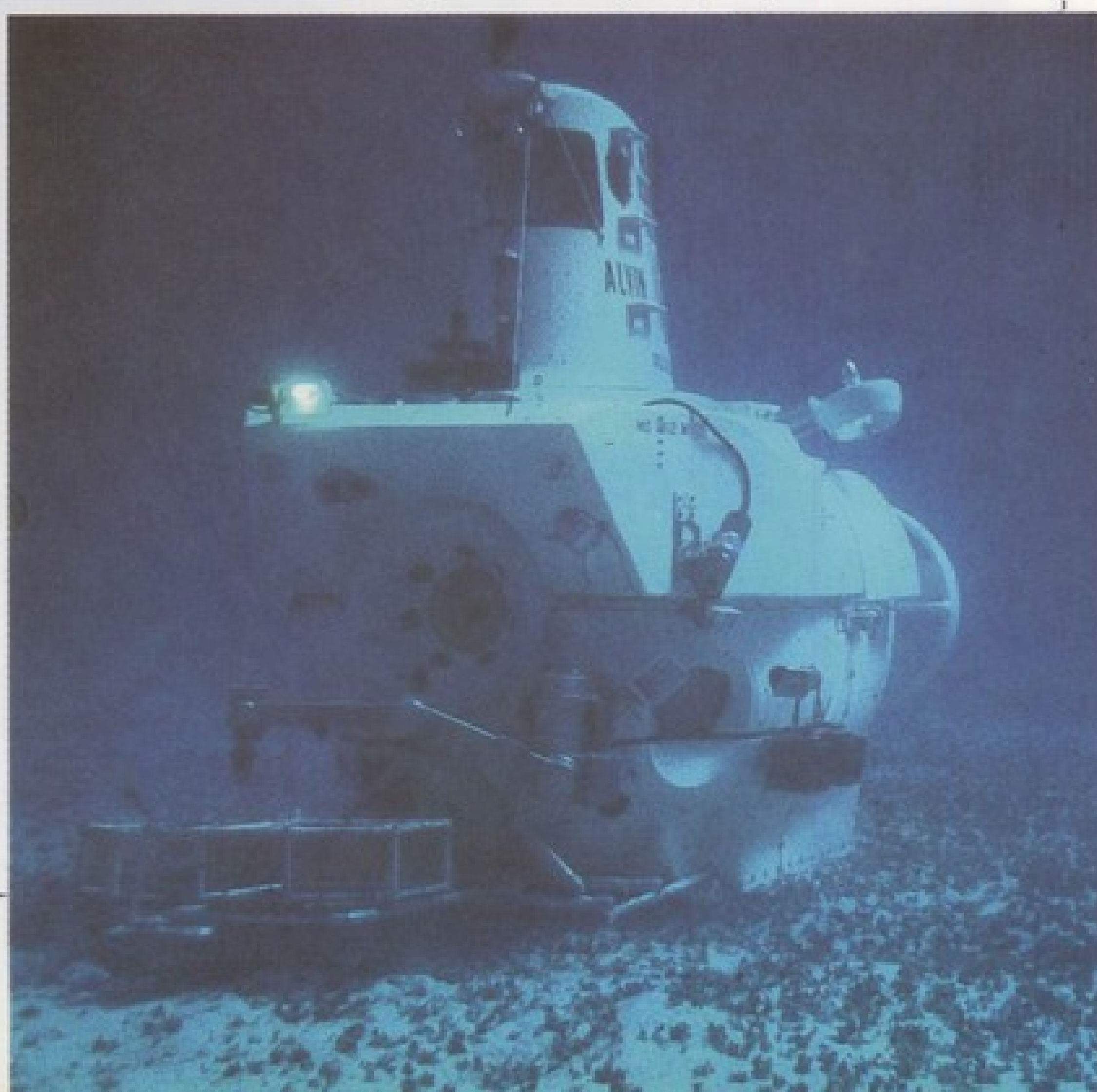
Véase **Buque oceanográfico; Deriva continental; Ingeniería oceanográfica; Mar; Tectónica**


NASA

La observación de la superficie terrestre vía satélite permitió a los oceanógrafos medir con exactitud las extensiones de los mares y océanos. En latitudes polares, los satélites permiten definir los límites entre las zonas de hielos perpetuos, las zonas que se hielan sólo en invierno y las zonas azules donde se encuentra el mar abierto todo el año, como puede verse en la fotografía de aquí arriba. En la parte que se halla bajo estas líneas pueden verse algunos planos del *Alvin*, uno de los sumergibles utilizados en el proyecto FAMOUS. Las fotos muestran un momento en la exploración de la fosa que divide la cadena centroatlántica en dos cordilleras. El proyecto fue realizado en el año 1974. El *Alvin* es capaz de sumergirse a más de 3.000 metros de profundidad. Su construcción permitió la observación directa del fondo oceánico y la recogida de muestras. El *Alvin* puede moverse gracias a un propulsor principal y a un sistema de motores auxiliares. Las imágenes inferiores muestran al *Alvin* posado sobre el fondo marino, a una profundidad media, y el brazo mecánico que posee para la recogida de muestras.







Woods Hole Oceanographic Inst.

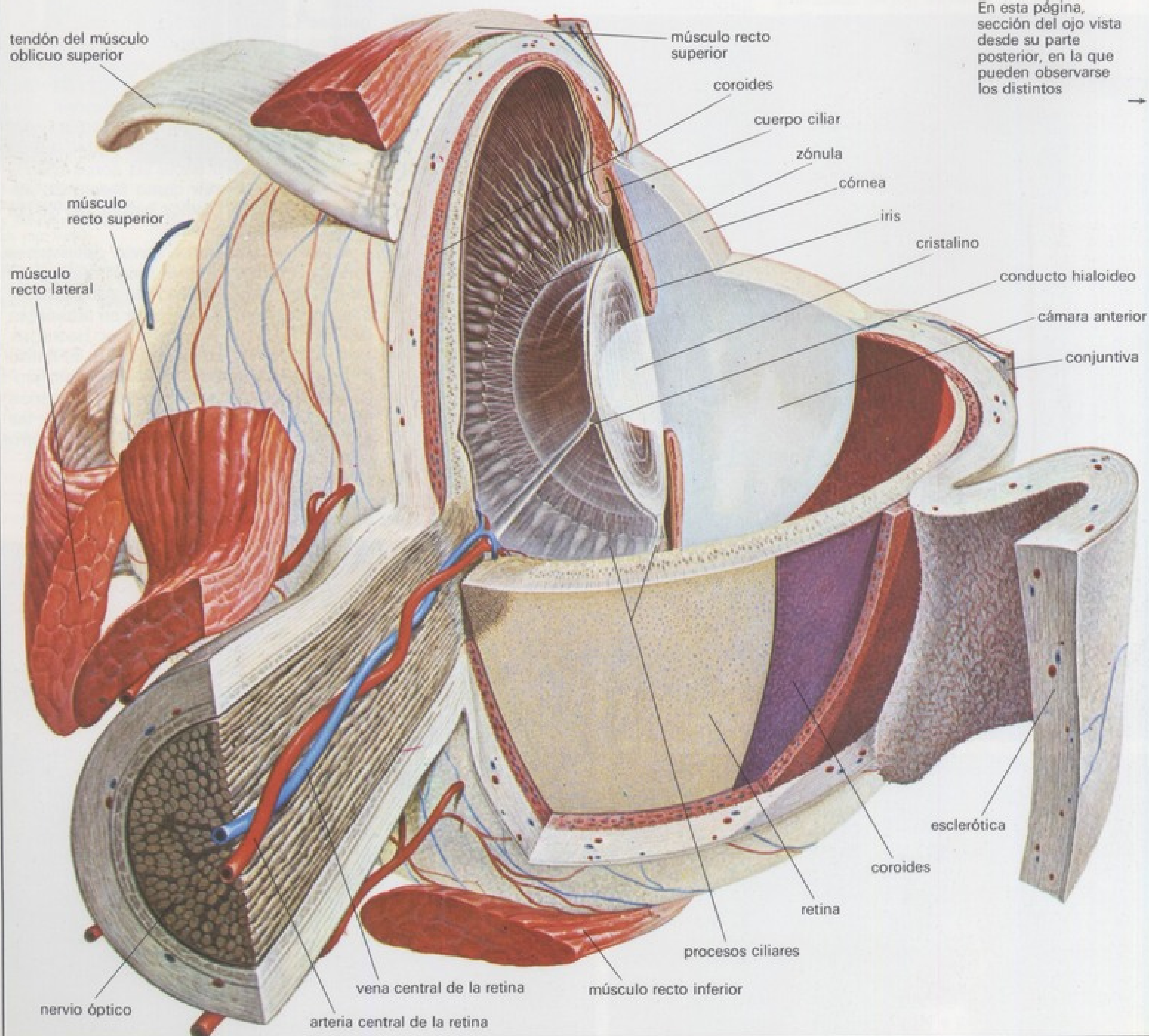
Ojo

Para entender la fisiología del ojo humano es suficiente comprender el funcionamiento de una cámara fotográfica que "capta" una imagen mediante un sencillo mecanismo: la luz penetra en el objetivo por una pequeña abertura, y una lente la hace converger en una película fotosensible. El ojo humano funciona de forma similar. La luz pasa a través de la *pupila* (una pequeña abertura), es enfocada por una lente, denominada *cristalino*, y se proyecta sobre la *retina*, capa fotosensible situada en el fondo del ojo.

Constitución del ojo Los principales componentes del ojo son la córnea, la esclerótica, el iris, el cristalino, el cuerpo vítreo, la retina y el nervio óptico. La *córnea* y la *esclerótica*, en conjunto, forman la pared más externa del globo ocular; la córnea está situada en la parte anterior del ojo y constituye una especie de ventana transparente de entrada de los rayos de luz; la esclerótica, opaca, protege el resto del ojo. La luz penetra en el globo ocular a través de la córnea y se propaga por medio de un líquido transparente, llamado *humor acuoso*, antes de pasar a través de la pupila, una abertura del iris. El *iris* es una estructura coloreada y de él depende el color de los ojos. Su función consiste en regular la apertura de la pupila, graduando la cantidad de luz que penetra en el ojo (la pupila aparece de color oscuro porque el ojo apenas refleja luz desde su interior). La luz atraviesa la pupila y posteriormente es enfocada por el cristalino; más adelante recorre el *cuerpo vítreo* —sustancia transparente y gelatinosa que llena el interior del ojo— antes de alcanzar la *retina* o capa fotosensible. Las reacciones químicas provocadas por la luz al incidir sobre la retina son transformadas en impulsos eléctricos que se transmiten al cerebro, donde son interpretados como imágenes, y todo ello al instante.

Existen muchos músculos implicados en la fisiología de la visión. Algunos permiten la rotación de los ojos de manera que puedan seguir los movimientos de los objetos, mientras que otros se utilizan para abrir y cerrar los párpados y proteger los ojos de cuerpos extraños, así como para mantener húmeda la córnea. Otros músculos, de mucho menor tamaño, actúan sobre el cristalino modificando su forma. De este modo se regula el recorrido del rayo luminoso mediante la acomodación para la visión de objetos cercanos o lejanos. Esta capacidad para enfocar objetos situados a distancias variables recibe el nombre de *acomodación*.

Los conos y los bastones Los elementos más importantes de la retina son las células nerviosas fotosensibles, esto es, los conos y los bastones. Los *bastones* son células que resultan más apropiadas para la visión *crepuscular*, ya que captan la luz



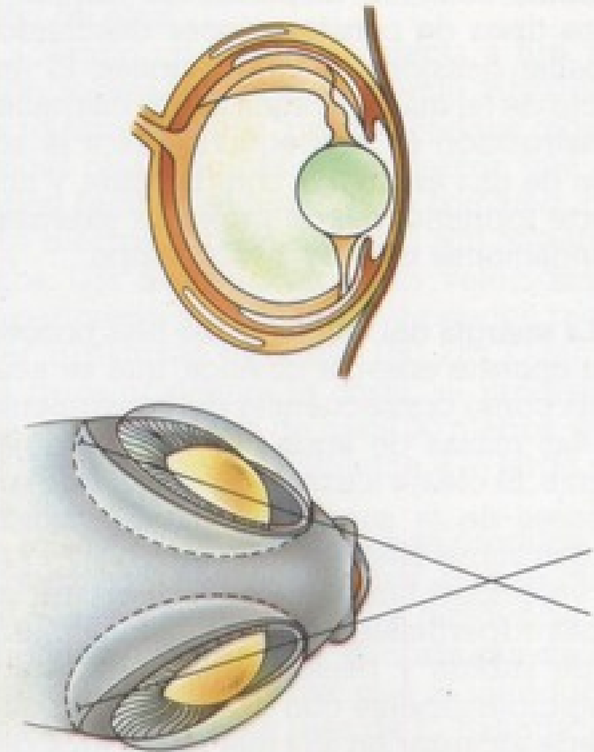
En esta página, sección del ojo vista desde su parte posterior, en la que pueden observarse los distintos →

en los matices del gris; los *conos* actúan mejor para la visión diurna y permiten la percepción de los colores.

En el centro de la retina existe una depresión, llamada *fóvea*, sobre la que el cristalino hace converger la luz. La fóvea permite la máxima precisión de visión con luz intensa, dado que sólo contiene conos. Debido precisamente a esta peculiaridad, de noche es mejor mirar sólo un lado del objeto que se desea observar, de manera que su imagen se proyecte sobre los bastones que circundan la fóvea en la retina.

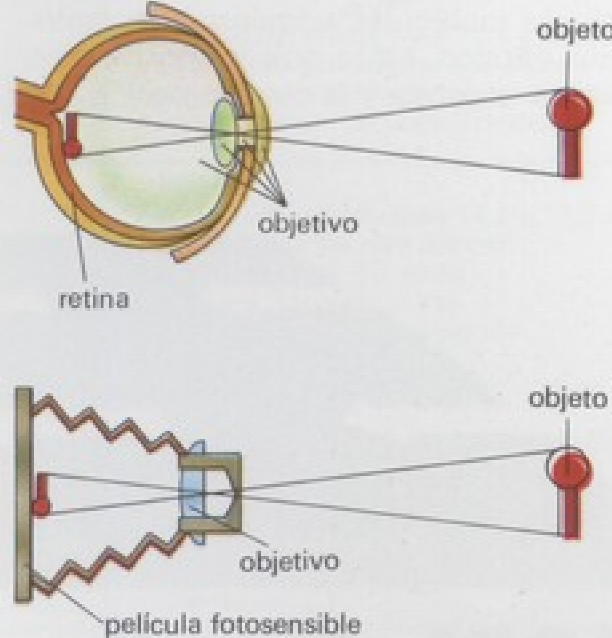
La teoría desarrollada en el siglo XIX por T. Young y H. L. Helmholtz sobre la visión de los colores, si bien no es absolutamente cierta, ha sido ampliamente aceptada. Estos fisiólogos supusieron que existían tres percepciones cromáticas fundamentales, el rojo, el verde y el azul, y que existían tres tipos distintos de conos capaces de ser estimulados cada uno de ellos por un color específico. Así, colores tales como el violeta o el amarillo serán percibidos cuando los conos resulten estimulados en distintas combinaciones. El color blanco se producirá por un estímulo igual de los tres tipos de conos, mientras que el negro será resultado de la ausencia de estímulo.

Los ojos en los animales Aparte de algunas semejanzas, pueden existir grandes diferencias entre los ojos de la especie humana y los de otras especies. Mientras en el hombre, por ejemplo, el enfoque de los rayos está regulado por las modificaciones de la forma del cristalino, en las serpientes el cristalino es desplazado hacia adelante o hacia atrás, como la lente de una cámara fotográfica. En los caballos, el enfoque está determinado por la retina, que presenta distintas zonas a diferentes distancias del cristalino. Cada zona sirve para enfocar objetos situados a una distancia específica.





En los esquemas bajo estas líneas, el ojo de un pez teleósteo (esquema superior), en el que se aprecia en particular que el cristalino es esférico y no deformable, y la modalidad de visión de los peces (esquema inferior); esta visión es monocular en la mayor parte del campo visual y binocular solamente en una región limitada situada en la parte anterior de la cabeza. En la fotografía, detalle de los "ojos" pedunculados de un bivalvo.



El ojo humano funciona como una cámara fotográfica. En uno y otra, la formación de las imágenes se produce de manera similar: en ambos la imagen del objeto es de tamaño menor que el original y aparece invertida. Los rayos luminosos atraviesan la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo, que constituyen en su conjunto el objetivo, y se proyectan sobre la retina, que hace las veces de película fotosensible.



→ constituyentes y sus relaciones recíprocas. Bajo estas líneas, representación de la retina, la capa más interna del ojo, de naturaleza nerviosa y que consta de distintos estratos celulares. Contiene los conos y los bastones, que son los elementos fotorreceptores, caracterizados por la propiedad de transformar la energía luminosa procedente del exterior en impulsos nerviosos que, conducidos a la corteza cerebral, determinan la sensación de la visión. Los conos son más numerosos en la porción central de la retina.

Los invertebrados se caracterizan por formas muy variables de fotorreceptores, desde la mancha ocular hasta el ojo compuesto. Las *manchas oculares* son las formas más primitivas de fotorreceptores y están constituidas por células sensibles a la luz situadas en la superficie corporal, como ocurre en los platelmintos. Estas especies animales reaccionan a un estímulo luminoso acercándose o alejándose de la fuente de luz. Los *ojos compuestos* de los insectos están formados por agrupaciones de *omatidios* (pequeños ojos) hexagonales o rectangulares unidos estrechamente entre sí, cada uno de los cuales es esencialmente un ojo simple. El ojo compuesto no puede percibir objetos pequeños o situados a cierta distancia, pero puede individualizar movimientos breves y veloces (por eso es difícil atrapar una mosca).

Alteraciones más frecuentes de la visión La miopía y la hipermetropía son los trastornos más frecuentes del ojo humano. En los casos de *miopía*, el foco del cristalino se sitúa delante de la retina, en el cuerpo vítreo, y la imagen llega borrosa a la retina. En los casos de *hipermetropía*, el foco se encuentra detrás de la retina, de manera que la imagen que se produce en la retina también resulta confusa. Ambas alteraciones pueden ser corregidas con la utilización de gafas o de lentes de contacto. Otros trastornos, como el *glaucoma* (un aumento de la presión en los fluidos oculares que puede llevar a la pérdida de la visión), son mucho más graves y con frecuencia requieren intervenciones quirúrgicas. En el glaucoma el aumento de la presión del globo ocular determina una disminución de la irrigación de la retina; esta irrigación disminuida lleva, en consecuencia, a una atrofia del nervio óptico, que se lesiona funcionalmente, con progresivas deficiencias campimétricas hasta degenerar en la ceguera total.

Por otro lado, es fácil que estos órganos tan delicados sufran agresiones, por lo que debe tenerse siempre la precaución de llevar gafas protectoras en aquellas actividades en que los ojos puedan ser fácilmente dañados.

Véase **Gafas; Lentes de contacto; Visión**

Olas

La contemplación de las olas marinas, de su esotérico dinamismo y colorido, supone para el observador un espectáculo recreativo y relajante. No obstante, el suave y constante dinamismo del mar puede transformarse en temporales catastróficos, con olas que pueden superar los 30 metros de altura, por lo que muchos pueblos costeros disponen de diques y otros tipos de construcciones destinados a paliar ocasionales inundaciones. El impacto de tal masa de agua sobre cualquier construcción es casi equivalente a la acción de una explosión con dinamita, y una fuerte tormenta puede provocar extensas inundaciones en muy poco tiempo.

La energía del viento Las olas poseen una enorme energía cinética, que se acumula como consecuencia del movimiento de las masas de agua por la acción del viento. El oleaje afecta a las capas más exteriores de la superficie marina cuando actúan sobre ellas vientos de más de 1 km de velocidad. Los vientos producen en las capas superficiales del mar un movimiento de subida y bajada, que se transmite longitudinalmente con una velocidad que puede alcanzar en alta mar los 15 m/s, dependiendo de la fuerza del viento, de la duración del mismo y de su alcance, es decir, distancia en la que el viento sopla con la misma dirección. A veces puede aparecer un fuerte oleaje incluso en lugares de vientos débiles. Este fenómeno, conocido como *mar de fondo*, se debe a la propagación de olas creadas por el viento en áreas oceánicas lejanas. Cuando una ola se aproxima al litoral, su movimiento ondulatorio se modifica como consecuencia del roce con el fondo y se frena el movimiento de avance en la parte inferior de la ola, de forma que la parte superior se proyecta hacia adelante. En este momento la "rompe", produciendo la característica espuma blanca.

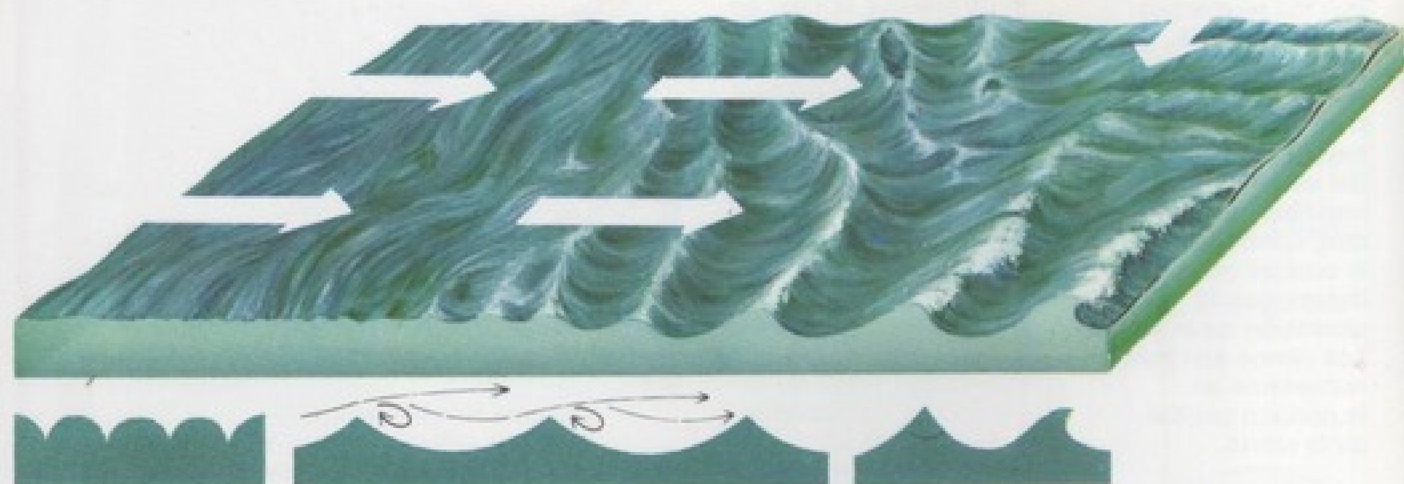
El movimiento de las olas Se puede estudiar el movimiento de las olas a partir de la observación del comportamiento de las moléculas de agua marina. En el mar libre, de gran profundidad, la energía del viento produce un movimiento circular de las moléculas de agua. Cuando las olas se acercan al litoral, y disminuye la profundidad del agua, el movimiento circular de las moléculas se modifica como consecuencia del roce con el fondo marino: el movimiento pasa entonces a ser elíptico. Además, la proximidad de la costa y la acción del viento comunican un movimiento de vaivén: las moléculas de la parte inferior de la elipse descrita por la ola se ven frenadas por el roce con el fondo, mientras que las de la parte superior continúan su avance, lo que origina las crestas. A medida que las olas crecen, sus crestas se agudizan hasta formar ángulos de 120º; en ese momento se vuelven inestables, rompen y se cubren de espuma. La propagación de las olas sigue leyes análogas a la propagación de otras ondas.

En mar abierto, el movimiento ondulatorio de las moléculas es circular, con oscilaciones que disminuyen con la profundidad. Si la fuerza del viento no es grande, el radio vertical de la circunferencia mide lo mismo que el componente horizontal. Este equilibrio de fuerzas explica por qué los objetos flotantes situados en alta mar, como los barcos, pueden permanecer estáticos en un lugar. En las aguas someras la altura de las olas aumenta, se acentúa su pendiente y se acorta su longitud. Las moléculas adquieren un movimiento elíptico, hasta que ya no pueden mantener la órbita y la ola rompe.

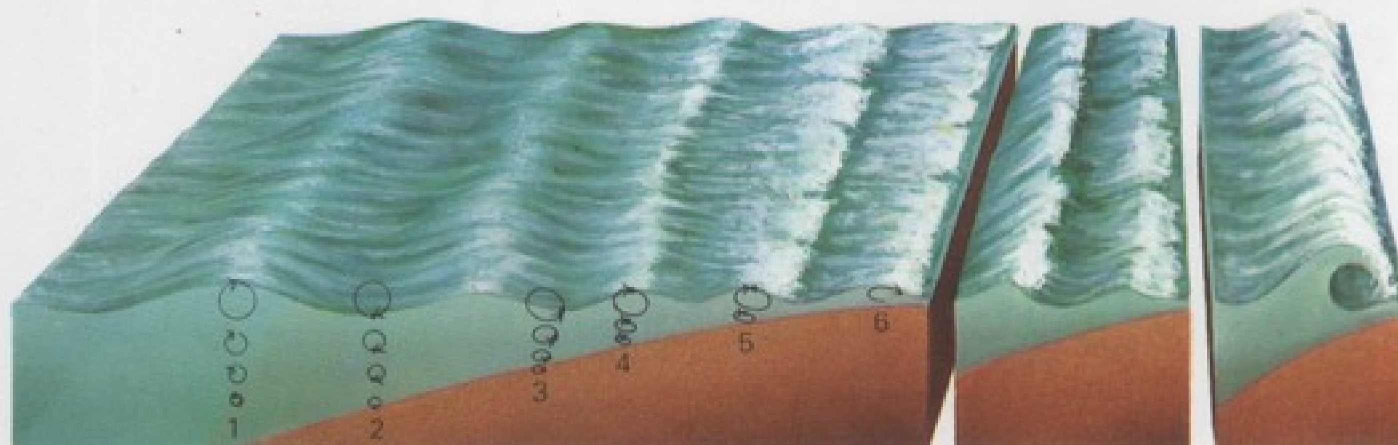
Tanto el movimiento circular como el elíptico se transmiten en profundidad. La profundidad alcanzada está directamente relacionada con la fuerza del viento en la superficie. La altura de una ola se mide como la distancia del vientre (o zona cóncava) a la cresta (o punto superior de la ola) y crece proporcionalmente a la fuerza del viento y a la distancia en que éste sopla en una misma dirección. En el Pacífico sur, el viento puede actuar unidireccionalmente durante miles de kilómetros y, dependiendo de su magnitud, las olas pueden alcanzar alturas superiores a los 30 metros.

Ya hemos visto cómo se transforma el movimiento de las moléculas de agua ante la proximidad de la costa. Una ola de gran magnitud, como la descrita de 30 me-

El esquema que se ve bajo estas líneas muestra el movimiento ondulatorio de las olas a medida que éstas se aproximan al litoral. Las flechas indican la dirección del viento. La parte inferior muestra los perfiles del movimiento de las olas: a la izquierda, el perfil en alta mar, y a la derecha, la modificación del movimiento ondulatorio como consecuencia del roce del agua con el fondo marino.



Bajo estas líneas, el movimiento de las moléculas de agua a medida que la ola se acerca a la plataforma costera. El movimiento circular de las moléculas en mar abierto (1 y 2) se va transformando en movimiento elíptico al disminuir la profundidad del agua (3, 4 y 5). Esta transformación se refleja en un cambio del movimiento ondulatorio de la ola, característico del mar abierto. A medida que disminuye la profundidad del agua, el frenado del movimiento de avance en la parte inferior de la ola va siendo más considerable. En el movimiento elíptico de las moléculas predomina notablemente la componente horizontal (6). Debido al efecto de frenado, la velocidad en la cresta de la ola es superior al desplazamiento en su base; el frente de la ola se ahueca y la cresta de la ola se proyecta hacia delante, momento en que la ola "rompe". En el cuadro de la página siguiente, la escala Beaufort, que caracteriza el estado del mar.



ESCALA BEAUFORT (indica el estado del mar en relación con la fuerza del viento)	
0 (calma)	no sopla el viento y el mar está en calma
1 (mar rizada)	velocidad del viento entre 0,5 y 1,7 m/s. El mar está ligeramente rizado y la altura de las olas no sobrepasa los 10 cm
2 (mar rizada)	velocidad del viento entre 1,8 y 3,3 m/s. La altura de las olas es inferior a los 20 cm
3 (marejadilla)	velocidad del viento entre 3,4 y 5,2 m/s. Empieza a destacar la amplitud de las olas, aunque no sobrepasan los 60 cm de altura
4 (marejadilla)	velocidad del viento entre 5,3 y 8,5 m/s. Olas ligeramente encrespadas, con una altura de 60 cm a 1 metro
5 (marejada)	velocidad entre 8,6 y 11 m/s. Olas amplias que pueden alcanzar los 2 metros de altura
6 (fuerte marejada)	velocidad del viento entre 11,1 y 14,1 m/s. Olas amplias con crestas que llegan a romper antes de llegar a la costa, y con una altura de unos 2 metros
7 (mar gruesa)	velocidad del viento entre 14,2 y 17,2 m/s. Las crestas de las olas rompen y se arremolinan. Su altura llega a los 3 metros, y hay dificultades para la navegación
8 (mar gruesa)	velocidad del viento entre 17,2 y 20,8 m/s. Las olas rompen con mayor violencia y tienen gran amplitud de onda. Su altura puede llegar a los 5,5 metros, y existen grandes dificultades para navegar
9 (mar muy gruesa)	velocidad del viento entre 20,9 y 24,4 m/s. Las olas baten violentamente la costa y rompen con gran estruendo. La altura de las olas es de unos 7 metros; apenas existe visibilidad para navegar, y la situación para los barcos es muy peligrosa
10 (mar arbolada)	velocidad del viento entre 24,5 y 28,5 m/s. El mar está espumoso por la violencia de las olas al romper. Estas superan los 9 metros de altura, y la navegación se hace prácticamente imposible
11 (mar montañosa)	velocidad del viento entre 28,6 y 32, 6 m/s. La violencia de las olas al romper es extrema, y su altura alcanza los 11,5 metros. La visibilidad es prácticamente nula, y existe peligro de inminente hundimiento incluso para los grandes navíos
12 (huracán)	la velocidad del viento supera los 37 m/s. En los huracanes tropicales puede llegar a los 60 m/s. Las olas superan los 14 metros de altura, y es frecuente el hundimiento de los barcos.

tros de altura, posee una enorme cantidad de energía cinética acumulada, que se descargaría de modo devastador sobre el litoral.

Otros fenómenos que influyen en la formación de las olas Aparte de la acción ejercida por el viento, existen otros fenómenos naturales que dan lugar a la formación de olas.

Cuando un terremoto afecta a una región submarina, el movimiento vibratorio se transmite al mar, produciéndose gigantescas olas sísmicas o maremotos, que en Japón reciben el nombre de *tsunamis*, cuyos efectos sobre las costas son catastróficos. Los *tsunamis* alcanzan velocidades superiores a los 650 km/h y pueden recorrer distancias de hasta 160 km. Cuando un *tsunami* alcanza la costa, se producen olas con una altura de hasta 30 metros, que se adentran en el continente a lo largo de unos 13 kilómetros.

Durante las tempestades se produce un aumento en el nivel del mar, que se puede deber a varias causas: la incidencia de un fuerte viento hacia la costa puede levantar un fuerte oleaje, que al introducirse en el continente más de lo habitual da la sensación de una subida del nivel del mar. En los grandes lagos puede ocurrir este fenómeno, con la particularidad de que la eventual subida de nivel en una orilla implica un descenso en la opuesta. Al cesar el viento, el agua vuelve a su nivel con cierta brusquedad, pudiendo inundar la orilla que había sufrido en un principio el descenso de nivel, e incluso llega a producirse una oscilación notable.

En la desembocadura de los grandes ríos, la subida de la marea es en parte contrarrestada por la energía cinética del agua del río, y cuando el equilibrio se rompe a favor de la marea, se produce una gran ola, por delante de la cual el río conserva el nivel de la marea baja, y tras la cual adquiere el nivel de la pleamar. Esta ola, parecida a un escalón de agua que se adentra en el curso fluvial, sigue un recorrido de muchos kilómetros antes de amortiguarse.

La disminución de presión atmosférica que acompaña a las tormentas produce también un aumento del nivel del mar. En efecto, al disminuir el peso del aire, el agua reacciona aumentando de nivel, tal como lo haría un barómetro. En algunas ocasiones estos factores se suman, produciéndose inundaciones que llegan a ser catastróficas. En el Mar del Norte, en 1958, una tempestad provocó la inundación de unos 25.000 km^2 de la costa holandesa, ocasionando 2.000 víctimas. En la Edad Media se produjeron varias inundaciones en los Países Bajos, en una de las cuales se superó el número de 100.000 víctimas.

Véase **Mar; Marea; Movimientos ondulatorios; Oceanografía; Viento**

Oleoducto

Los oleoductos o *pipelines* son sistemas de tuberías de muchos kilómetros de longitud que sirven para conducir el petróleo bruto desde los depósitos de los campos de extracción a las refinerías o a los puertos de embarque. Las redes de oleoductos se encuentran repartidas por todo el mundo y atraviesan cualquier tipo de terreno y clima, desde la tundra helada de Alaska al árido desierto de Arabia Saudí. Los primeros oleoductos se construyeron en Estados Unidos entre 1875 y 1880, en que tuvo lugar el inicio de la producción a nivel industrial del petróleo. Ya a mediados del siglo XX el progresivo aumento en el consumo de petróleo crudo llevó al desarrollo de las instalaciones de conducción. En 1950 se construyó el "Trans Arabian pipeline" (1.720 km), que, al unir el Golfo Pérsico con el mar Mediterráneo, supone una ventaja de casi 4.500 kilómetros respecto a la vía marítima (canal de Suez). En 1977 se inauguraba el oleoducto "Alyeska", fantástica red de tubos cuyo peso supera las 500.000 toneladas, y que, con sus 1.275 km, une la costa norte de Alaska con los puertos de embarque de la costa sur, transportando entre ambos puntos hasta cien millones de toneladas de petróleo crudo al año. Existen otros muchos oleoductos de menor longitud. Estados Unidos dispone de una red de oleoductos de larga distancia de más de 300.000 km de longitud, sólo para líquidos, y un sistema mucho mayor para gas natural. En Europa se ha producido un considerable incremento de las redes de conducción de petróleo y productos derivados. Destacan el oleoducto Rotterdam-Rin, de 240 km, y el que enlaza Marsella-Lavera, en el Mediterráneo, con Estrasburgo, en el alto Rin. En España destaca el oleoducto Rota-Zaragoza, de 776 km, y el Málaga-Puertollano, de 165 kilómetros.

Estructura de las conducciones La mayor parte de las tuberías está hecha de acero, pero a veces se utiliza también el plástico, la cerámica y aleaciones metálicas no-ferrosas resistentes. A menudo estos tubos están recubiertos con revestimientos de protección. El revestimiento más extendido consiste en una pintura anticorrosión derivada del alquitrán de carbón fósil, asfalto o plástico, reforzada a veces con una funda de fieltro de fibra de vidrio o poliuretano. Los proyectistas eligen los materiales según sea el tipo de sustancia que fluye por las conducciones. Además, tienen que considerar otros factores, como, por ejemplo, el caudal requerido, las presiones existentes —tanto interna como externamente— en los conductos, el grado de estanqueidad con respecto al agua y al aire, la actividad química de las sustancias que, con el paso de los años, podría provocar una peligrosa corrosión, y finalmente los costos de construcción y funcionamiento. Después de que se han tomado estas decisiones y se han redactado los proyectos, se puede iniciar la construcción de las conducciones.

Como la mayor parte de la red de conducciones es subterránea, es necesario









En la página de al lado, abajo, dos ejemplos de redes de hidrocarburos; a la izquierda, el trazado del oleoducto de Europa central; a la derecha, el denso trazado de los metanoductos italianos. A la izquierda de estas líneas, transporte del petróleo desde una plataforma fija en el mar hasta una refinería. Debajo, colocación de los grandes tubos de un oleoducto. En el centro, conducciones de goma de un buque cisterna, sostenidas por cables y ganchos, envían los productos petrolíferos a la refinería. Abajo, refinería receptora de petróleo crudo.





primeramente dejar expedito el terreno y excavar una zanja que sea lo suficientemente honda para que el tubo quede enterrado a 1 m de profundidad. Seguidamente se cuelgan sobre esta zanja una serie de tramos de conducción, generalmente de unos 12 m de largo, que posteriormente se unen entre sí y se introducen en la zanja, después de haberlos recubierto con el revestimiento protector. Los tramos se pueden unir mediante soldadura, con remaches o con acoplamientos mecánicos, según sea el material utilizado, el diámetro, el peso y las características de uso. A lo largo de la conducción se encuentra una serie de estaciones de bombeo, situadas a una distancia de 80-120 km, que sirven para mantener los líquidos conducidos a una presión de 70-105 kg/m^2 (para tubos de hasta 31 cm de diámetro) o bien de alrededor de 38-63 kg/m^2 (para conducciones de 62-88 centímetros).

El tendido de oleoductos mar adentro requiere técnicas especiales, en particular para las conducciones de gran diámetro en aguas profundas, como las del mar del Norte. Las tuberías deben ser proyectadas para que no floten, por lo que se les suele aplicar un lastre, generalmente un pesado recubrimiento de hormigón, que a la vez le proporciona una protección suplementaria.

El recorrido de la conducción La sustancia transportada a través de la conducción debe efectuar muchas paradas antes de llegar al lugar donde se utiliza. Por ejemplo, el petróleo se almacena en grandes depósitos en las cercanías de los pozos petrolíferos de los que se retira mediante conducciones de recogida. Desde aquí, el petróleo pasa a los grandes oleoductos que lo transportan directamente a las refinerías o a lugares donde camiones o barcos lo retiran para llevarlo a las refinerías. Los productos petrolíferos obtenidos del crudo llegan posteriormente al mercado mediante otros oleoductos, si el punto de destino está alejado, o con otros medios de transporte.

Véase **Gas natural; Petróleo; Refino del petróleo**

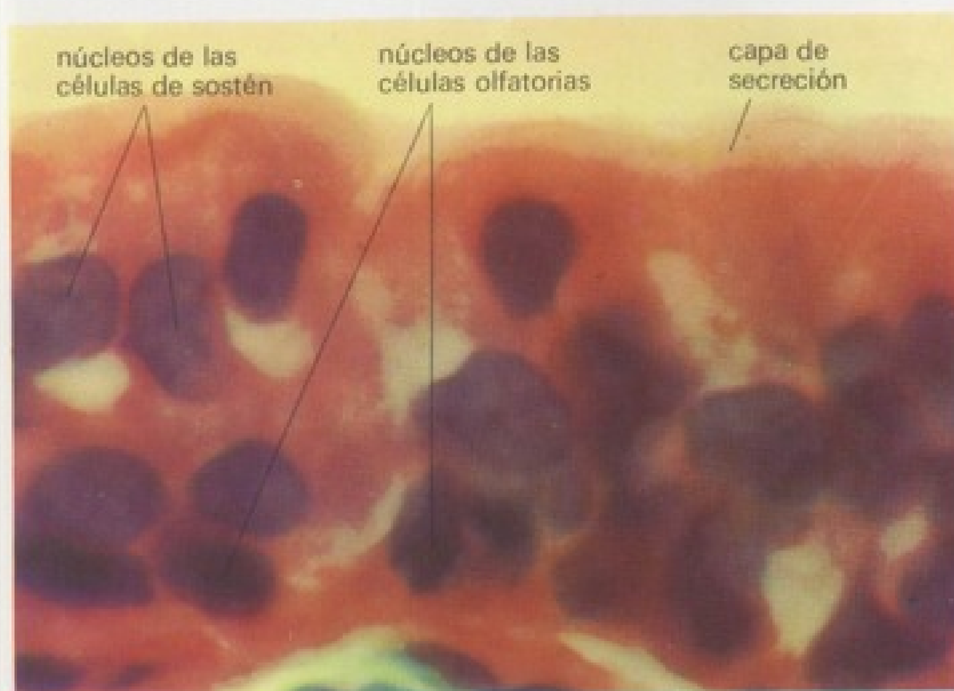


Olfato, sentido del

El sentido del olfato funciona a través de estímulos químicos como el del gusto, pero es 10.000 veces más sensible. A causa de esta gran sensibilidad, el olfato es de enorme utilidad tanto para el hombre como para los animales. Podemos percibir el aroma del pan recién cocido cuando pasamos por delante de una panadería, o la fragancia de una rosa apenas abierta, y somos también capaces, mediante el sentido del olfato, de advertir algunos peligros, como por ejemplo una fuga de gas.

Los animales utilizan el sentido del olfato para descubrir sus presas y también como mecanismo de defensa contra los depredadores. Una manada de gacelas podrá percibir el olor de los leones presentes en la zona, y así emprender la fuga aun antes de poder verlos. Los salmones emplean el olfato para localizar el camino que han de seguir contracorriente hacia el lugar de nacimiento del río, donde depositarán sus huevos.

El mecanismo del olfato Los receptores olfatorios de los mamíferos se encuentran contenidos en una membrana situada en la parte superior de la cavidad nasal. En la especie humana, esta membrana tiene un color amarillo, posee una extensión de unos 2,5 centímetros cuadrados y se encuentra en ambas fosas nasales. Unos pelillos diminutos, denominados *cilios*, revisten esta membrana mucosa. Dichos cilios son la parte apical de unas células largas y estrechas que constituyen los receptores olfatorios, cada una de las cuales tiene entre 6 y 12 cilios. El otro extremo de la célula receptora, en forma oval, termina en unas fibras nerviosas unidas al bulbo olfatorio del cerebro. Las moléculas son transportadas al área olfatoria por medio de las corrientes de aire generadas por la respiración. Estas moléculas portadoras de los olores son recogidas por los cilios, y la sensación así producida es inmediatamente transferida a la región olfatoria del cerebro a través de las células receptoras. Desde aquí se envían mensajes al hipotálamo. Esta región del cerebro está relacionada con la regulación de ciertos estímulos, como el hambre, la sed y el instinto sexual, y gobierna el comportamien-



El olfato constituye, junto con el gusto, el sentido químico que permite la identificación de determinadas sustancias según sus características químicas o fisicoquímicas. Los receptores específicos del sentido del olfato son las células olfatorias, que en el hombre están distribuidas en una zona limitada de la parte más alta de las fosas nasales, constituyendo la denominada *mucosa olfatoria* (arriba, en una imagen al microscopio óptico). A la derecha: A) pared lateral de la fosa nasal derecha y de la cara medial del hemisferio cerebral derecho, donde están indicadas (en azul) las localizaciones de la mucosa olfatoria y (en verde) las formaciones cerebrales más relacionadas con la función olfatoria; B) el recorrido de la vía olfatoria.

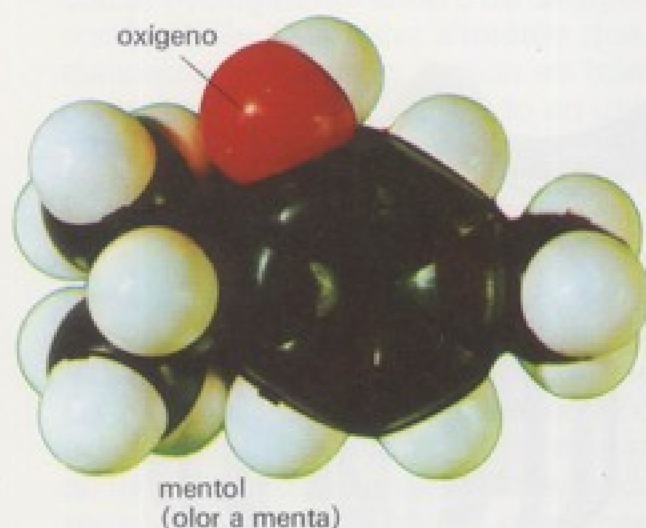
to emocional en sus expresiones fundamentales. Esta relación es más directa y observable en formas de vida inferiores —como los insectos— que en el hombre o en los primates. Algunos olores, sin embargo, pueden evocar sensaciones y recuerdos intensos: una persona que habita en la ciudad puede percibir el olor de la hierba recién cortada de un jardín cercano y recordar la granja en la que transcurrió su infancia.

Cuando los hombres y los animales olfatean con fuerza para percibir mejor el olor de alguna cosa, incrementan efectivamente el flujo de aire que, por las fosas nasales, se dirige hacia la zona olfatoria: de este modo consiguen aumentar el número de moléculas olorosas interceptadas por los cilios. El resfriado común tiene exactamente el efecto contrario: congestiona la membrana mucosa y, en consecuencia, obstaculiza o impide completamente el flujo de tales moléculas.

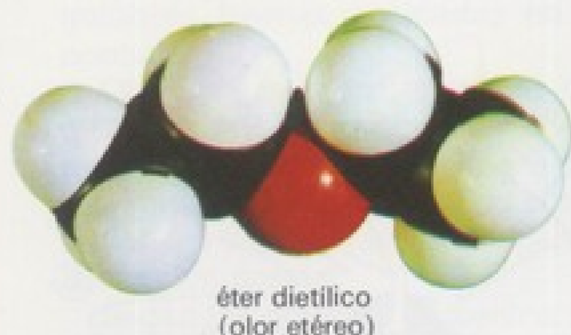
Las condiciones necesarias para la olfacción Para que los receptores olfatorios puedan recoger las moléculas olorosas procedentes de una sustancia, dicha sustancia debe cumplir dos requisitos. En primer lugar, debe ser volátil (es decir, debe vaporizarse con prontitud a temperaturas relativamente bajas y liberar moléculas en el aire); en segundo, debe ser al menos un poco soluble en el agua, de manera que sea capaz de atravesar la membrana mucosa. Si una sustancia posee esas dos cualidades, puede tener un olor perceptible mediante el sentido del olfato.

Muchos investigadores han tratado de separar los olores en algunos de sus componentes básicos. No existe, sin embargo, un acuerdo general a causa de las dificultades que se encuentran en el estudio de estas sensaciones; un sistema, por ejemplo, ha propuesto siete olores básicos: alcanforado, almizclado, floreal, de menta, etéreo, picante y pútrido. Utilizando este sistema, cada uno de los miles y miles de olores registrados por el cerebro podría ser generado por una o por la combinación de dos o más categorías elementales.

Véase **Gusto, sentido del; Nariz y fosas nasales**



mentol
(olor a menta)


éter dietílico
(olor etéreo)


ácido fórmico
(olor picante)



hidrógeno sulfurado
(olor pútrido)

En la parte superior de estas líneas se representan cuatro moléculas correspondientes a otros tantos olores fundamentales: estas moléculas, dispersas en el aire inspirado, alcanzan la mucosa olfatoria, donde se ponen en contacto con los receptores de las células sensoriales.

Según la teoría estereoquímica de los olores, la célula olfatoria (en el centro) posee algunos pelillos o cilios, en cuya superficie estarían excavados nichos de formas distintas (representados alrededor). En uno de esos nichos de un determinado tipo podrán encajarse solamente moléculas de una forma dada y no de otra; por lo tanto, todas las sustancias olorosas cuyas moléculas posean una cierta forma darán lugar a uno de los olores fundamentales; sin embargo, parece que la percepción de los olores picante y pútrido está más en relación con interacciones eléctricas que con la geometría de la molécula. La teoría estereoquímica de los olores, si es probada completamente y estudiada en profundidad, podría conducir a la predicción del olor de una molécula partiendo de la observación de su geometría.

Olla a presión

Muchas personas a las que agrada comer bien aborrecen, sin embargo, emplear mucho tiempo en preparar una comida y prefieren un método más rápido para obtener sabrosos platos. Su deseo ha sido hoy prácticamente satisfecho desde que los hornos de microondas, las batidoras y otros artefactos automáticos han irrumpido en nuestras cocinas, haciéndolas más eficientes. En lo que concierne a la cocción de alimentos, una invención que se remonta a 400 años —la olla a presión— continúa siendo un elemento fundamental en las cocinas modernas.

Desarrollo histórico En 1680, el físico francés Denis Papin demostró que los alimentos se cocinaban más rápidamente en una olla dotada de una tapa que cerrase herméticamente; pero la distribución no uniforme del calor y la inestable regulación de la presión causaron a menudo explosiones, por lo que el "digestor" de Papin cayó en desuso. Nicolas Appert, un precursor de los modernos métodos para la conservación de los alimentos enlatados, se interesó nuevamente por la cocción de los alimentos a presión, mientras trabajaba en un sistema que asegurara el abastecimiento de alimentos no deteriorables a los ejércitos napoleónicos durante las largas campañas.

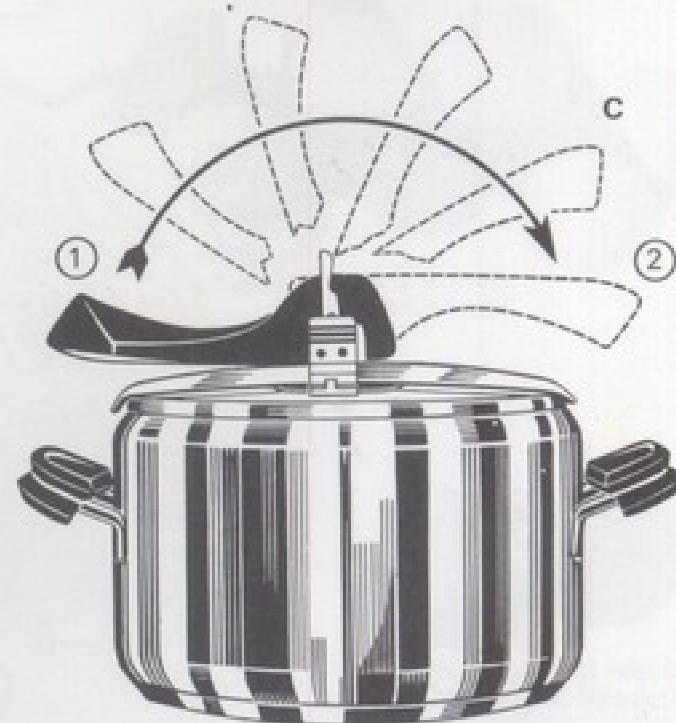
A finales del siglo XIX, la conservación de fruta y verdura era de uso bastante común, si bien los métodos utilizados —no siempre apropiados— provocaron muchas enfermedades y muertes. La olla a presión alcanza el debido reconocimiento en 1917, cuando el ministro de Agricultura de Estados Unidos anunció que el enlatado a presión era el único método para conservar los alimentos con bajo contenido ácido.

Las primeras ollas a presión eran muy pesadas y estaban provistas de incómodas tuercas de oreja que se debían ajustar fuertemente para mantener la tapa en su sitio. La utilización de materiales metálicos ligeros ha resuelto el problema del peso. En lo que concierne a la sujeción de la tapadera, Alfred Vischer, un diseñador norteamericano, encontró la solución al inventar una que se deslizaba lateralmente hacia el interior de la olla y, si se giraba de la manera justa, se adhería cómodamente a la parte inferior de borde curvado. En la mayor parte de las ollas a presión modernas, tanto la olla como la tapa tienen los bordes atornillables, por lo que se unen estrechamente mediante rotación, y una junta especial garantiza el cierre hermético. La tapa está provista de una válvula que regula la presión interna, dejando salir parte del vapor cuando la pre-



En esta secuencia de imágenes se muestra las distintas fases para el cerrado hermético de una olla a presión, una vez que en ella se han introducido los alimentos preparados para su cocción. Por lo general, la casa fabricante del modelo suele señalar con una marca, practicada en la pared de la olla, el máximo nivel de llenado, que no debe ser nunca rebasado por el contenido de la olla.









La olla a presión ha convertido la cocción doméstica en más racional, asegurando una cocción óptima de los alimentos con todas las ventajas para su valor nutritivo. A la derecha, olla a presión para la esterilización *in vitro* de conservas alimenticias: mermeladas, salsas, jugos de fruta.

Arriba, la olla ha sido llenada y está lista para ser cerrada (A). En las otras imágenes se ve cómo se cierra: la manija de la tapa debe estar en posición de apertura y la tapa debe ser introducida teniéndola ligeramente inclinada (B); la olla se cierra llevando la manija de la posición 1 a la 2 (C); y ya puede iniciarse la cocción (D).

sión del mismo alcanza el valor prefijado, con lo que se evita el riesgo de explosión del recipiente.

Funcionamiento y utilización El funcionamiento de la olla a presión se basa en el punto de ebullición del agua. Este se obtiene calentando un líquido hasta que la presión de vapor (presión hacia arriba) supera la presión atmosférica (presión hacia abajo). Por ejemplo, al nivel del mar, donde la presión atmosférica es de 1.013,25 milibares, el agua hierve a la temperatura de 100 °C. En cambio, en una olla a presión, al ser ésta mayor que la presión atmosférica, también la temperatura de ebullición es superior, con el resultado de que el alimento está expuesto a un calor mayor respecto al de una olla normal y se cuece por tanto más rápidamente, con el consiguiente ahorro de tiempo y de combustible. Cualquier alimento que normalmente es hervido, cocido en húmedo o a vapor puede ser cocinado en una olla a presión con un notable ahorro de tiempo. Los cereales naturales, como el arroz y la cebada, se cuecen en la mitad de tiempo; las verduras para menestras y estofados se cuecen en pocos minutos. En el caso de las legumbres secas, como las semillas de soja, los garbanzos o las lentejas, el tiempo ahorrado utilizando la olla a presión es todavía mayor y de este modo no hay necesidad de que permanezcan en remojo durante una noche, como normalmente se hace en la preparación de legumbres frescas cocinadas en una olla normal.

Otra ventaja consiste en el hecho de que los períodos de cocción más breves requieren menos agua, lo que hace que los alimentos conserven más sustancias minerales y nutritivas en comparación con la cocción normal.

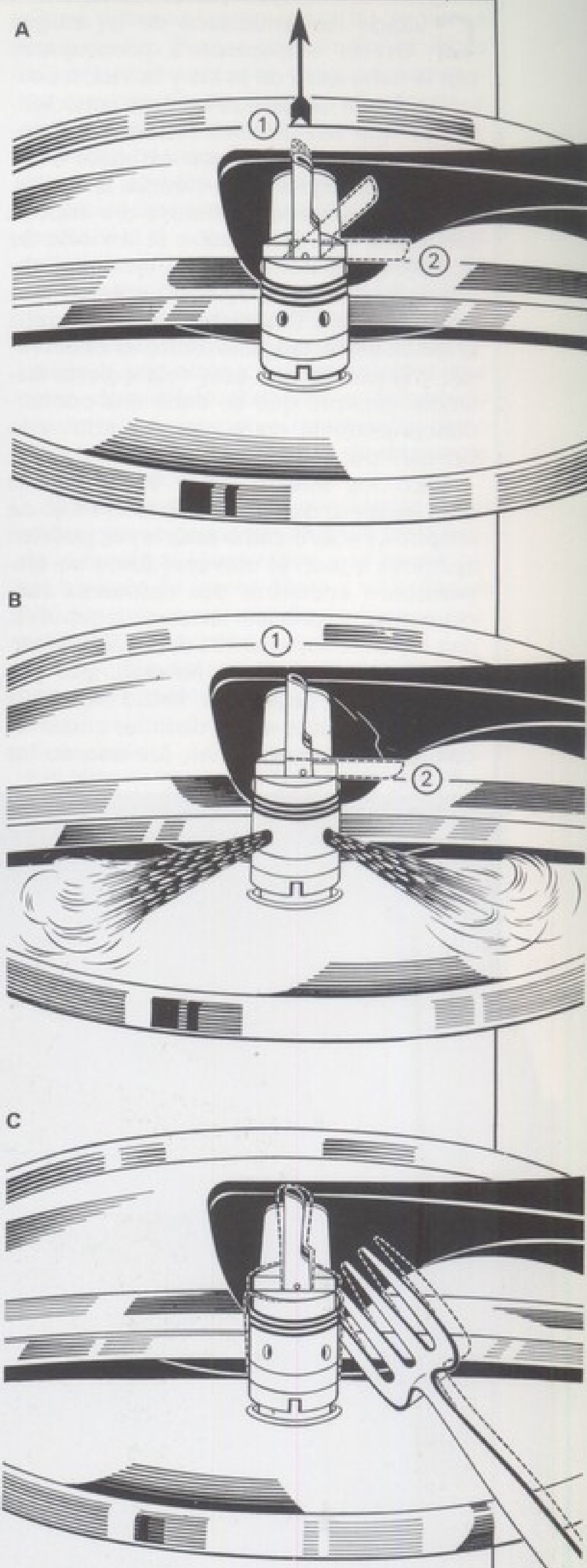
Según los diversos alimentos, se puede seleccionar la cantidad de presión requerida mediante un indicador. Se pueden obtener presiones de 2,3 kg, 4,6 kg y hasta de 6,9 kg sobre la presión atmosférica normal. Las ollas a presión para uso doméstico están disponibles en el mercado en tamaños que varían de 2 a 20 litros de capacidad. Los modelos utilizados para la conservación de alimentos (autoclaves) tienen dimensiones superiores y las altas temperaturas obtenidas en ellos aseguran la esterilización y la supresión de bacterias. En un principio, las personas que utilizaban ollas a presión temían que éstas pudiesen explotar o despidiesen los alimentos si eran abiertas antes de tiempo, pero rápidamente descubrieron que eran bien seguras. La mayor parte de las ollas a presión es de bloqueo automático, de manera que no es posible abrirlas hasta que la presión interna no ha vuelto a los valores normales. Fáciles de usar, las ollas a presión representan una ayuda válida en la cocina para quien desee cocinar de modo rápido, seguro y esmerado.

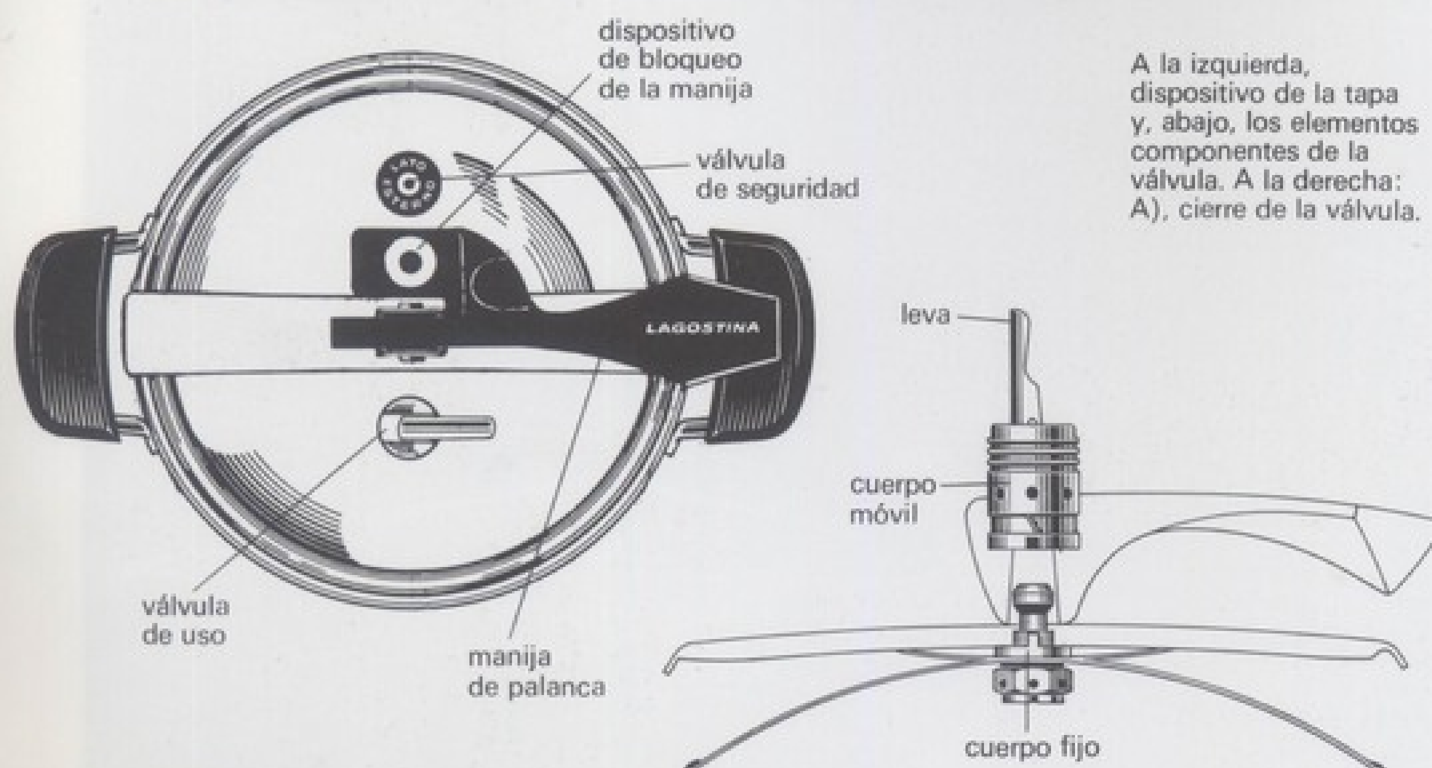
Conservación media de las sales minerales y de las vitaminas de doce legumbres tras su cocción en olla a presión y en olla normal con agua abundante

	Cocción en olla a presión %	Cocción en olla normal %
Ca	87,9	77,8
Fe	85,6	76,7
P	84,9	72,1
Vit. B	78,9	62,6
Vit. B	82,6	63,1
Vit. PP	81,6	59,2
Vit. C	72,5	52,7
Carotina	89,1	79,1

Cantidad de vitamina C (mg/100) contenida en algunas verduras crudas tras su cocción en olla normal y en olla a presión

Verduras	Crudas	Cocidas en olla normal	Cocidas en olla a presión
espinacas	25,4	8,2 (32,2%)	10,8 (42,4%)
guisantes	33,7	16,1 (47,6%)	22,2 (65,8%)
judías verdes	24,9	15,8 (63,6%)	17,9 (71,9%)
patatas	15,5	13,0 (83,9%)	14,7 (95,0%)
coles de Bruselas	130,5	60,8 (46,6%)	91,9 (70,4%)
repollo	92,3	13,5 (14,6%)	34,1 (36,9%)





A la izquierda, dispositivo de la tapa y, abajo, los elementos componentes de la válvula. A la derecha: A), cierre de la válvula. Levantando hacia arriba la leva que la libera del seguro 1), ésta pasará a la posición 2), cerrando así la válvula; B) apertura de la olla una vez terminada la cocción. Se descarga totalmente el vapor alzando la leva de la válvula de uso (2), hasta colocarla en posición de válvula abierta (1); C) con un tenedor se produce la oscilación del cuerpo móvil de la válvula, asegurando que no salga más vapor y controlando que el dispositivo de bloqueo retorne a la posición original.
Todos los alimentos experimentan una modificación nutricional durante la cocción. Nótese sin embargo la diferencia de deterioro nutritivo según haya sido el método de cocción adoptado; como se ve en las tablas, las ventajas de la cocción en olla a presión son muy apreciables.

Optica

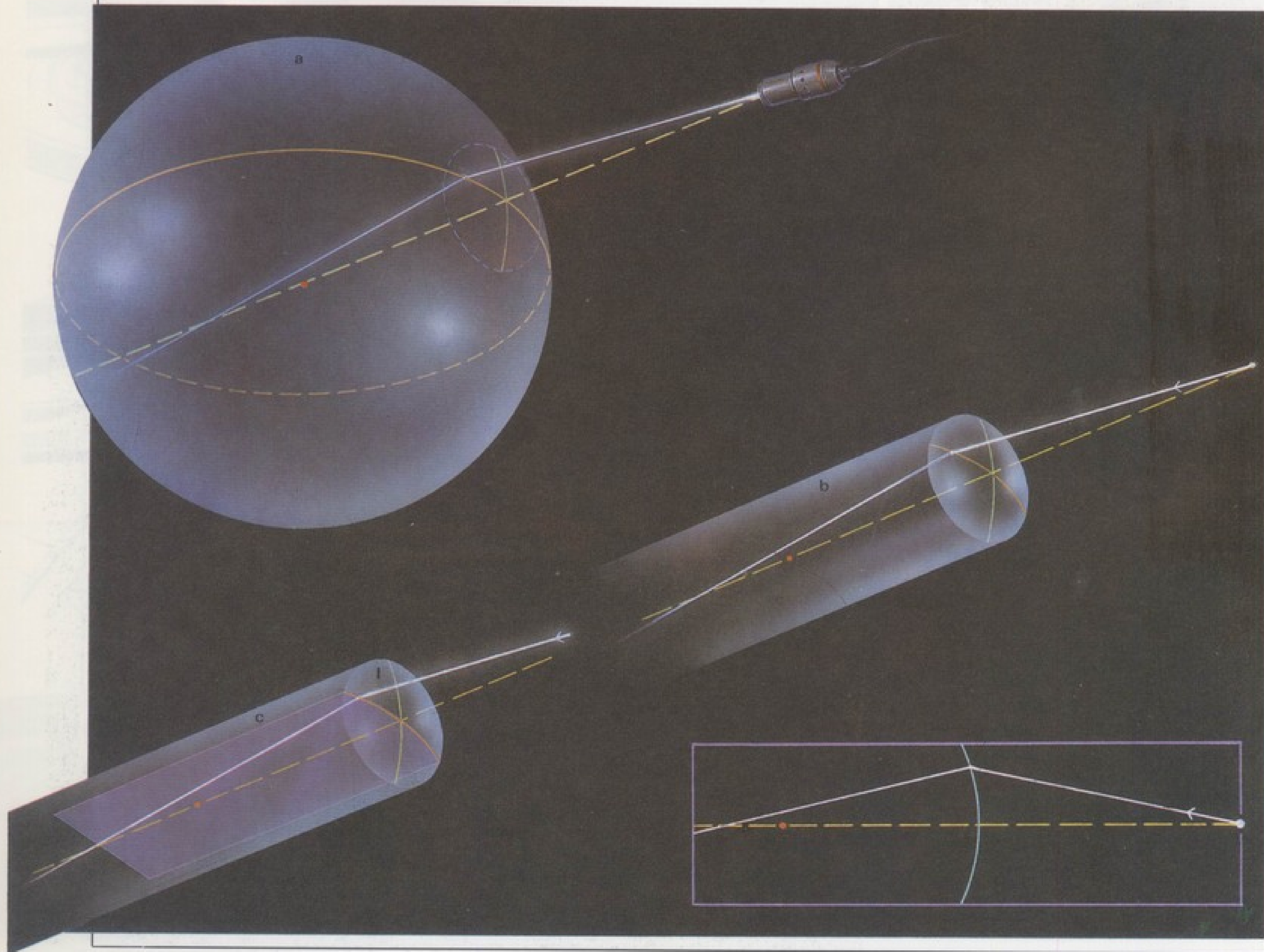
Cuando los estudiosos de la antigua Grecia empezaron a preocuparse por la naturaleza de la luz y la visión ocular, con toda seguridad no eran conscientes de que sus debates señalaban el comienzo de uno de los más extensos e importantes campos de la ciencia: la Optica.

En los primeros momentos era imposible definir qué era la luz, o si la visión de un objeto tenía origen en el ojo, en el objeto mismo o en el cuadro escénico que percibía el ojo. Parecía no existir ninguna relación física, tangible, entre el observador y el mundo que éste veía a cierta distancia, excepto que se daba una concordancia perfecta entre este "mundo" y lo previsto por el ojo.

Pero los interrogantes sobre cuáles eran las leyes que gobernaban el reino de la óptica y sobre cómo esas leyes podrían aplicarse a todo el universo físico no empezaron a encontrar una respuesta suficientemente precisa hasta el siglo XVII, con los descubrimientos de Galileo, Newton y otros científicos. Newton, que por medio de un prisma de vidrio separó la luz blanca visible en las distintas ondas de colores que la componen, fue uno de los primeros que hizo una descripción física coherente de la luz, basada en hechos físicos. Aunque su descripción de la luz como un flujo de partículas que va desde el objeto al ojo actualmente ya no es satisfactoria, sus suposiciones sobre la forma en que percibimos las imágenes fueron especialmente interesantes.

Imágenes reales y virtuales La óptica ha demostrado que las imágenes que podemos percibir son de dos naturalezas diferentes.

La primera de ellas es la *imagen real*. Cuando se ve a cierta distancia un árbol, la imagen es real. La luz que va directamente del árbol a la retina del ojo forma una imagen real, auténtica. Una fotografía o incluso una película de esa imagen proyectada sobre una pantalla constituye también una imagen real. Por otra parte, si se coloca un espejo frente al árbol y se observa la imagen a través del espejo, se verá lo que se conoce como una *imagen virtual*, que se parece mucho al objeto real, pero parece estar colocada a cierta distancia detrás del espejo, en una dirección distinta a la que se encuentra el árbol ori-



Abajo, cómo se origina un diptrio. Se parte de una esfera de material refractante (a), como puede ser el vidrio, que suponemos que está rodeada de aire. Desde una fuente luminosa se proyecta un rayo de luz sobre un punto de la superficie de la esfera. El rayo la alcaza y penetra en ella, pero al entrar experimenta una refracción, es decir, se desvía de la dirección que llevaba inicialmente. Existe una ley que permite determinar cómo entra el rayo en la esfera. Esta ley, que a menudo se enuncia para el plano, afirma que la relación entre el seno del ángulo que forma el rayo al entrar con la normal al plano y el seno del ángulo de refracción es una constante que se denomina *índice de refracción*, y es distinta según la sustancia que atraviesa el rayo. Aquí vemos cómo aplicar esta ley al caso del rayo que entra en la esfera. Se une el punto desde el que sale el rayo luminoso con el centro de la esfera, y se corta un cilindro del tamaño suficiente para incluir todo el camino del rayo luminoso desde la fuente hasta el punto en que el rayo vuelve a cortar el eje representado antes (b). En (c) se traza un plano seccional del dioptrio que permite dibujar sobre él el camino del rayo. Ahora se puede olvidar el dioptrio y dibujar sólo el plano sobre el que se mueve el rayo. En rojo, el centro de la esfera de la que hemos partido para construir el dioptrio. I es el punto de incidencia del rayo luminoso sobre la superficie de la esfera, del dioptrio o de su sección plana.

ginal. Los telescopios y los prismáticos, que a menudo utilizan superficies reflectantes, crean imágenes virtuales de los objetos de los que recogen los rayos luminosos.

Un fenómeno interesante ocurre cuando se ponen dos espejos uno frente al otro, con el observador situado entre ellos. Como la luz reflejada salta de un espejo al otro indefinidamente, parece que existe un número infinito de imágenes virtuales, que se extienden más allá de los espejos en los dos sentidos.

Optica física Cualquiera que sea la naturaleza de la imagen percibida, en el estudio de la luz y de su percepción hay algunas leyes que son siempre válidas.

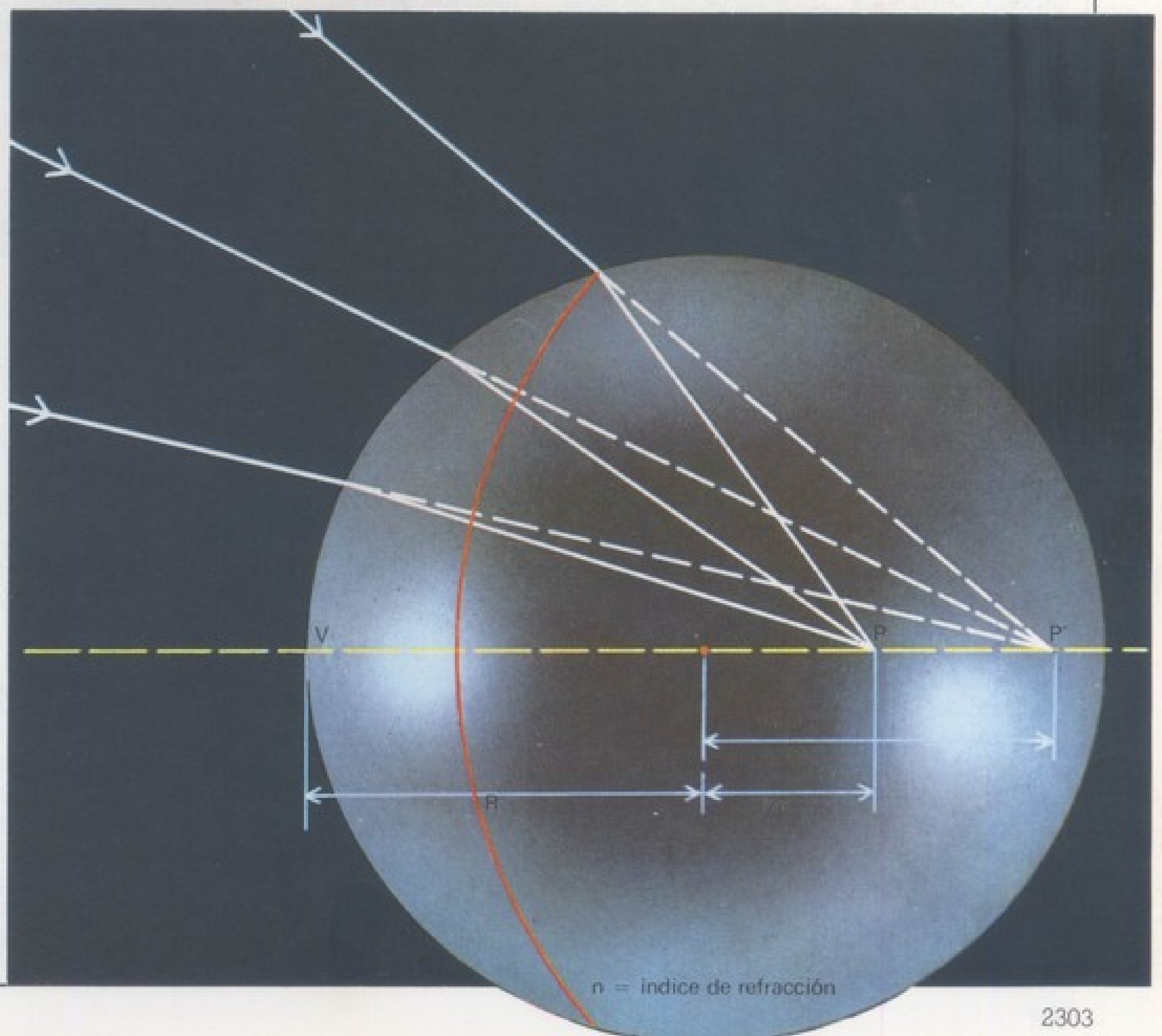
Hoy sabemos que la luz visible es solamente una pequeña parte de un vasto campo de radiaciones conocido como espectro electromagnético. En un extremo del espectro están los energéticos rayos X, gamma y cósmicos; en el otro extremo se encuentran las radiaciones de frecuencias de transmisión en radio.

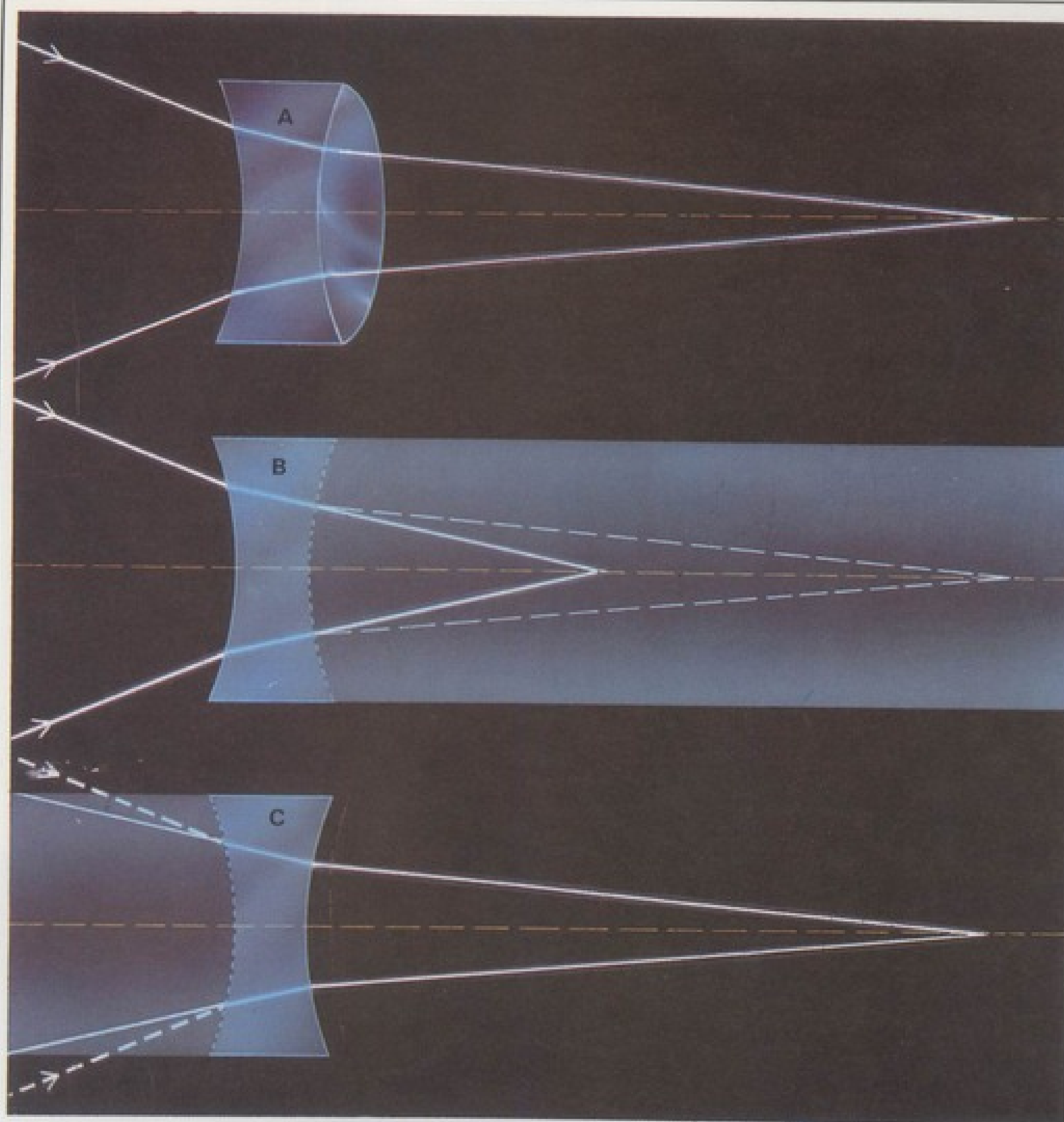
Todas esas radiaciones cubren un amplio margen de longitudes de onda: la luz visible se encuentra hacia la mitad. Las ondas electromagnéticas son una forma de transmisión de la energía a partir de una determinada fuente. El Sol, por ejemplo, emite un flujo constante de radiaciones visibles e invisibles en todas las regiones del espectro. Por las observaciones sobre la luz visible sabemos cómo se comportan muchas de las demás radiaciones, y ello gracias a la semejanza entre sus propiedades básicas. En este sentido, la Optica tiene también aplicación fuera del reino de las imágenes visuales, y especialmente en el estudio de los fenómenos submicroscópicos (como la emisión de energía por parte de las partículas radiactivas) y en las observaciones astronómicas de las radiaciones emitidas por las estrellas o por otros cuerpos celestes que están demasiado distantes o demasiado oscurecidos por polvo interestelar como para poder ser estudiados directamente con los telescopios ópticos.

Si los rayos de luz se consideran como ondas que se propagan en línea recta desde la fuente al observador, y se hacen pasar a través de lentes, filtros y retículos, se pueden poner de manifiesto ciertas propiedades especiales.

El estudio del comportamiento de la luz con estos métodos de trabajo recibe el

A la izquierda, se ve cómo en un mismo dioptrio dos rayos que entran paralelos al eje no lo cruzan en el mismo punto. En los experimentos de Optica se suelen emplear dioptrios más sencillos, en forma de casquete esférico de superficie muy inferior a la de la esfera; por ello se habla de *Optica paraxial*, es decir, formada por rayos próximos al eje del dioptrio. La propiedad que hace que un haz de rayos paralelos se refracte de forma que cada uno de sus rayos corte al eje principal en un punto distinto, se conoce por *aberración esférica*. Abajo, condiciones en que se puede anular.





nombre de *Optica geométrica*. Entre los principales fenómenos de la Optica geométrica están la reflexión, la refracción y la difracción.

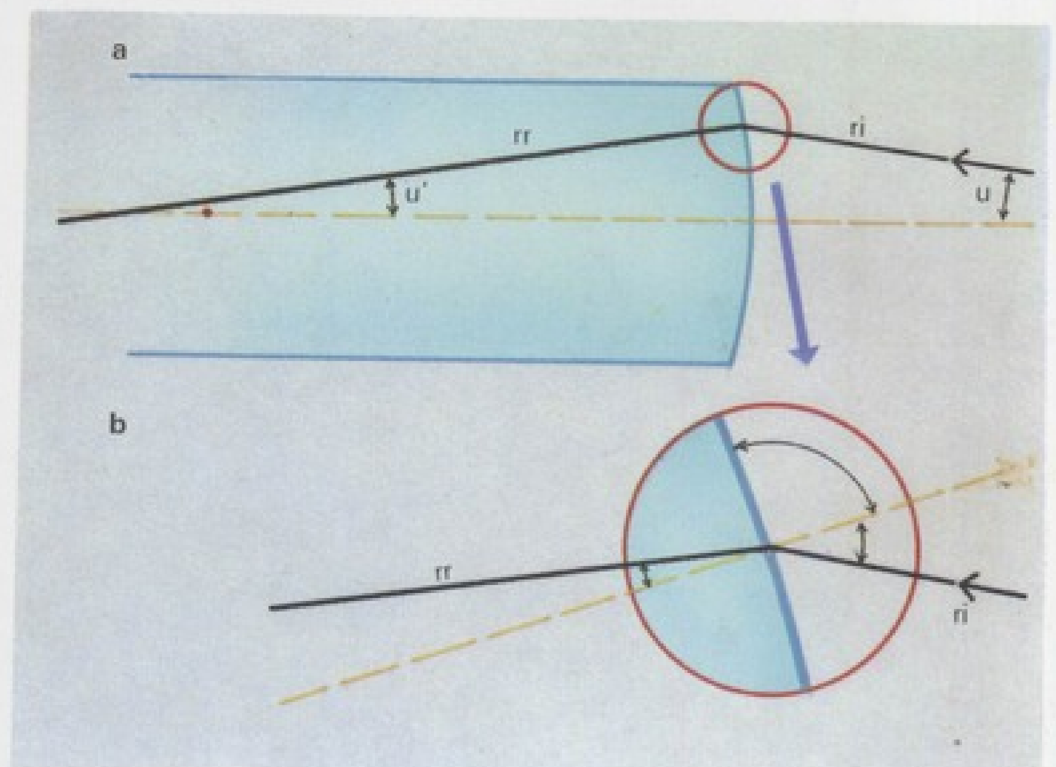
Reflexión de la luz Durante miles de años el hombre ha observado su propia imagen reflejada en la superficie de lagos y ríos, en un cristal pulido o sobre una placa de metal brillante. Tanto los espejos planos como los curvos son hoy tan corrientes que ni siquiera los apreciamos.

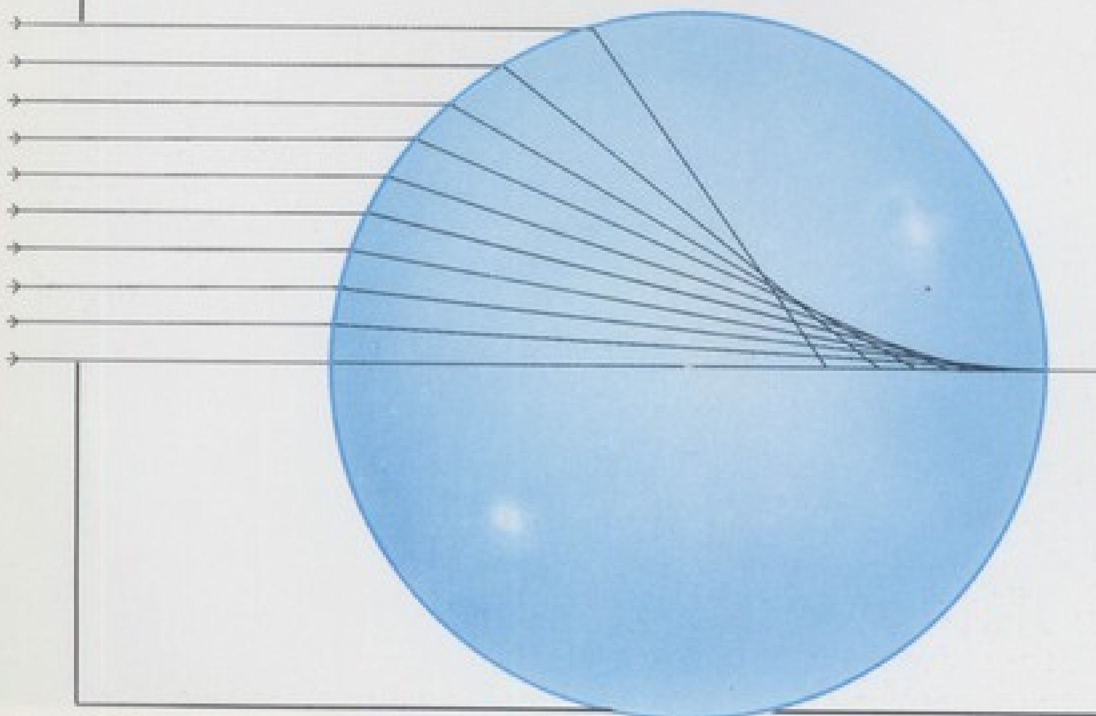
Uno de los primeros fenómenos que los antiguos griegos descubrieron manejando los espejos fue que un rayo de luz que alcanza una superficie reflectante (llamado *rayo incidente*) sale de ella con un ángulo exactamente igual al ángulo con el que llegó. En el caso de una superficie reflectante convexa (o sea, curvada exteriormente), un haz de rayos incidente puede ser dispersado en varias direcciones diferentes. Para enfocar una imagen virtual de forma que ésta sea aumentada de tamaño, los telescopios hacen uso de espejos curvos. Newton fue uno de los primeros científicos que utilizó esta propiedad de las superficies reflectantes curvas.

Refracción Cuando la luz pasa de un medio a otro de distinta "densidad óptica", su velocidad cambia. Esto sucede cuando pasa del aire al cristal, del cristal al agua o también del aire al vacío. Este cambio de velocidad se traduce en un cambio de dirección cuando el rayo de luz atraviesa la superficie que separa ambos medios. El cambio de dirección que experimenta el rayo se denomina *refracción*, y resulta muy útil para ciertas aplicaciones ópticas.

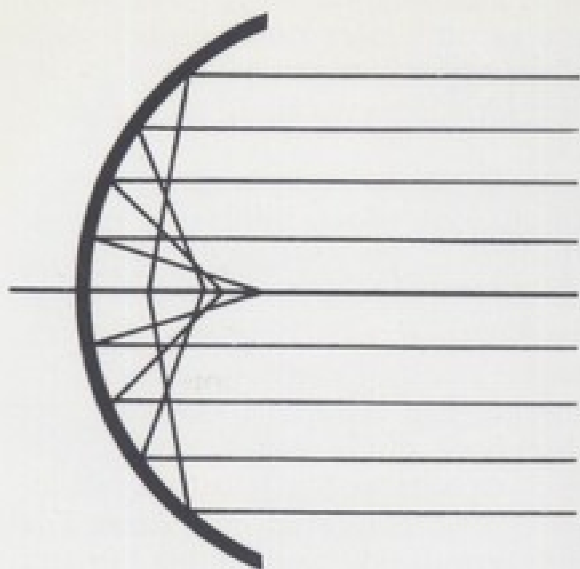
Uno de los primeros experimentos importantes que hicieron uso de la refracción fue el utilizado por Newton para descomponer la luz blanca en los distintos colores que la constituyen. Debido a que las radiaciones de distinta longitud de onda se refractan con ángulos ligeramente diferentes, y como cada uno de los colores del espectro visible tiene una longitud de onda algo distinta de los demás, los rayos emergen del prisma con ángulos ligera-

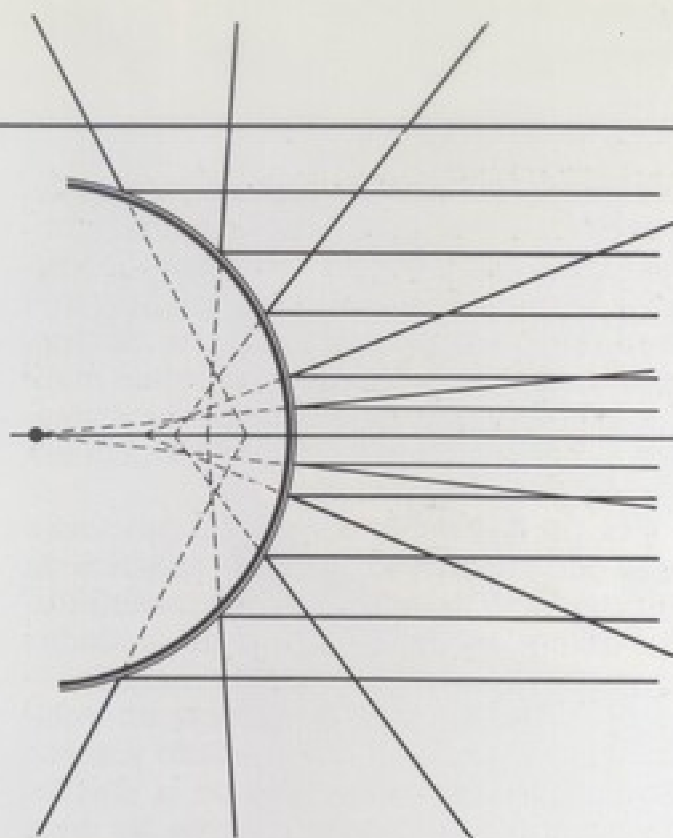
Cada lente simple (es decir, formada por elementos del mismo material óptico) se realiza con la combinación de dos dioptrios. En A, sección de una lente simple bicóncava. Dos rayos la alcanzan desde la izquierda, encuentran primero una cara y se refractan; después encuentran la segunda cara y se refractan de nuevo. Las leyes del dioptrio permiten prever dónde irán a parar los rayos. En efecto, en B, podemos imaginar que los rayos que proceden de la derecha alcanzarán un dioptrio convexo y sabemos prever cómo cambiarán de dirección. En todo sistema óptico se cumple el principio de reversibilidad del camino luminoso. Si un rayo de luz atraviesa un sistema óptico a lo largo de un cierto recorrido, éste será el mismo en ambos sentidos. En C los rayos, cuya trayectoria dentro de la lente hemos calculado, alcanzan la segunda cara, que es convexa, entonces se puede calcular el movimiento sin hacer siquiera uso del principio de la reversibilidad del recorrido óptico. A la derecha, la sección del dioptrio, donde *ri* es el rayo incidente, *rr* el refractado, *u* el ángulo de incidencia, *u'* el ángulo de refracción (tomados ambos a partir del eje óptico del dioptrio).

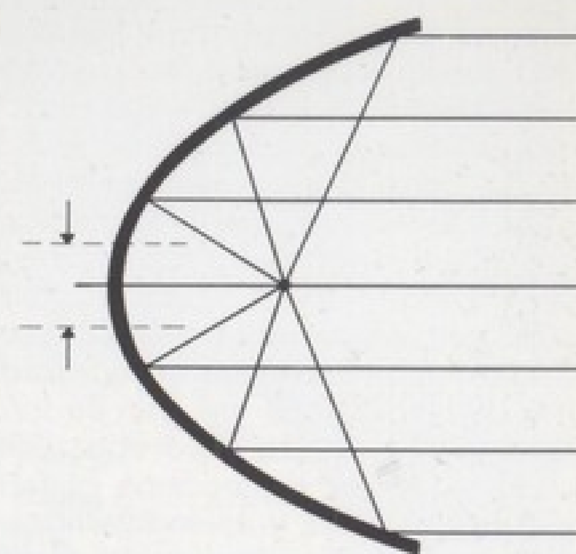




A la izquierda, el fenómeno que hace que los rayos que entran en el dioptrio a poca distancia del eje vayan a concentrarse todos muy cerca entre ellos, mientras que los que están más lejos vayan a caer más cerca del vértice. Se ha dibujado toda la esfera para comprender cómo se origina la denominada *aberración esférica*.







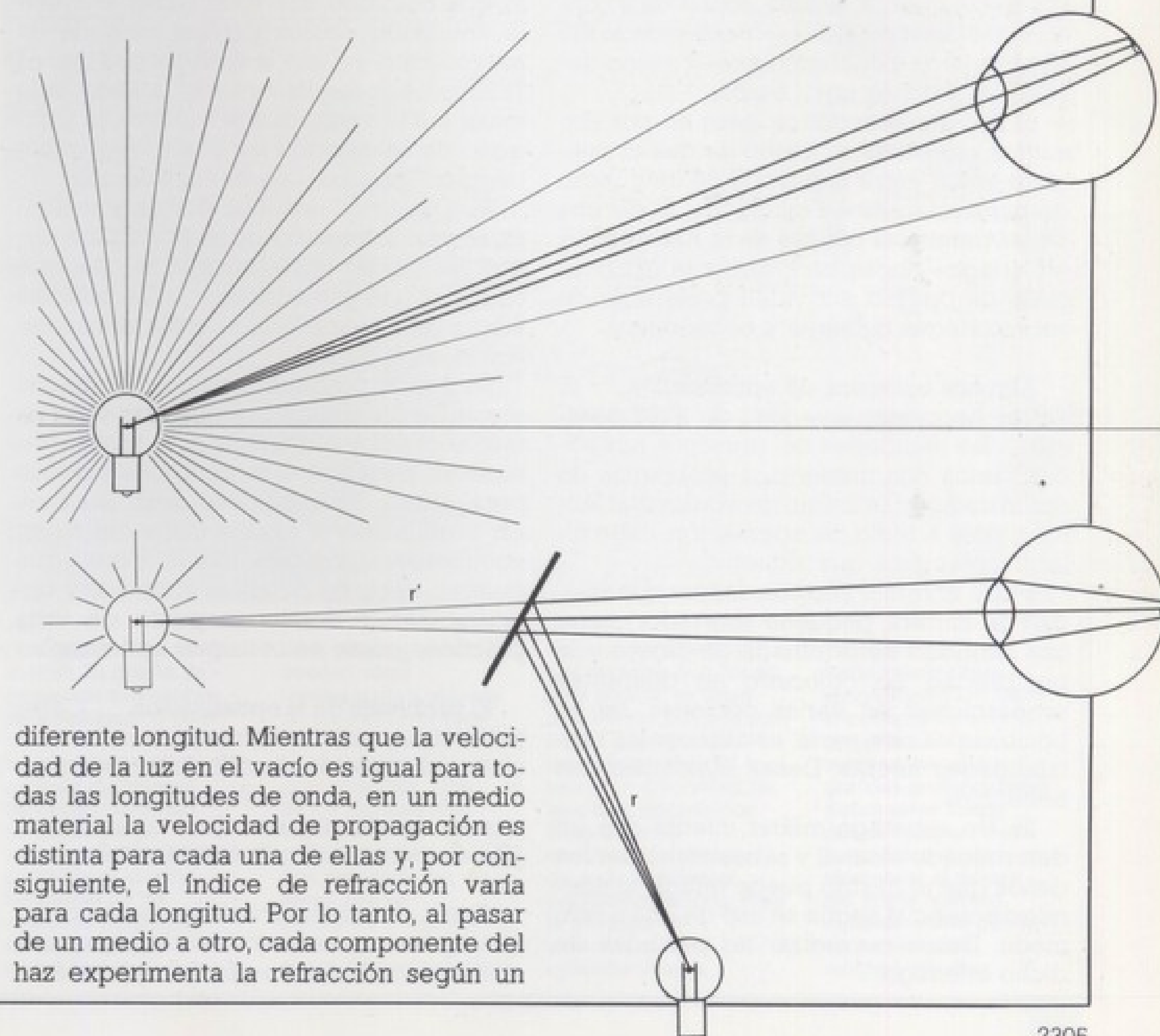
En cierto sentido, es más fácil la parte de la Optica que estudia la reflexión que la que estudia la refracción. Arriba, a la izquierda, se puede ver la reflexión de un haz de rayos sobre una superficie esférica cóncava. Tanto en el caso de la reflexión, como en el de la refracción sobre una superficie esférica, los rayos paralelos al eje y cercanos a él van a concentrarse en un único punto situado hacia la mitad de la distancia entre el centro de curvatura y el vértice; sin embargo, los más lejanos van a concentrarse tanto más cerca del vértice cuanto más alejados estén del eje. Este fenómeno se denomina aberración esférica del espejo esférico. Con un espejo de pequeña abertura, en comparación con el radio de curvatura, se puede obtener la convergencia de los rayos en un punto, fenómeno que permite construir sistemas ópticos con espejos, como objetivos fotográficos y telescopios. En el centro, la reflexión sobre una superficie esférica convexa, y a, la derecha, la reflexión en un casquete parabólico que no tiene aberraciones para los rayos paralelos al eje. El primer y último espejos hacen converger los rayos luminosos. En este caso, debido a que los rayos convergen, se pueden formar "imágenes reales". Una imagen real se puede recoger con una placa fotográfica o también con una pantalla. Sin embargo, en el espejo central convergen las prolongaciones de los rayos y, en este caso, hablamos de "imagen virtual". En la figura inferior se ilustra cómo el ojo ve una bombilla si la mira directamente. Si se interpone un espejo (y se dispone la bombilla lateralmente) el ojo verá igualmente la bombilla, pero no a través de las prolongaciones *r′* de los rayos reflejados que originan los rayos *r* al chocar con el espejo.

mente diferentes y aparecen separados unos de otros. Los prismas de vidrio se usan todavía hoy en instrumentos ópticos, como los prismáticos y los periscopios, así como en centenares de tipos de lentes diseñados especialmente para refractar la luz de forma que la distancia focal se altere. Las lentes ópticas cumplen este fin, de forma que se utilizan para compensar las eventuales incapacidades del ojo para enfocar las imágenes. Un buen ejemplo de refracción es el que consiste en concentrar la luz del Sol en una mancha luminosa intensa utilizando una lente de aumento.

Difracción, dispersión y polarización

El fenómeno de la *difracción* es característico de las propiedades ondulatorias de la materia y se origina cuando un obstáculo se interpone parcialmente a la propagación libre de un haz de ondas. Por lo general, la difracción tiene lugar en rendijas, orificios circulares y redes ópticas de dimensiones comparables a la longitud de onda empleada. Los puntos de la abertura se convierten en fuentes secundarias que emiten ondas derivadas en todas las direcciones. La interferencia entre estas ondas da lugar a la formación de imágenes de difracción con zonas de máxima y mínima intensidad.

La *dispersión* por el contrario, tiene que ver con el carácter polícromo de la luz. En efecto, la mayor parte de los haces está formada por una mezcla de ondas de diferente longitud. Mientras que la velocidad de la luz en el vacío es igual para todas las longitudes de onda, en un medio material la velocidad de propagación es distinta para cada una de ellas y, por consiguiente, el índice de refracción varía para cada longitud. Por lo tanto, al pasar de un medio a otro, cada componente del haz experimenta la refracción según un ángulo distinto y la luz se dispersa. El ejemplo más típico de dispersión se observa en un prisma, donde un haz de luz blanca que lo atraviese se dispersa formando un espectro de colores.



La *polarización* de la luz a través de cristales, prismas u otros instrumentos es un fenómeno que permite separar de un haz natural aquellos trenes de ondas (o sus componentes) en los cuales el vector eléctrico oscila en un azimut particular; es, pues, un procedimiento singular de filtrado que nos permite obtener trenes de ondas muy homogéneos y de características muy específicas.

Véase **Electromagnetismo; Lente; Luz**

Optimización

Existe una interesante leyenda en torno al nacimiento de Cartago, la ciudad fundada por colonizadores fenicios hacia el año 825 a. de C. en las proximidades del actual Túnez y que, en su día, disputó a Roma la hegemonía en el Mediterráneo. Según la misma, una princesa fenicia, Dido, hija del rey de Tiro, obtuvo el correspondiente territorio de un soberano local, que le puso una limitación: la extensión de aquél debería ser la que fuese capaz de abarcar con una piel de toro. Parece que la fenicia supo aprovechar la oferta; para ello, confeccionó, cortando la piel en finas tiras y uniéndolas, una cinta muy larga; luego circunvaló con ella un amplio territorio junto a la costa. La leyenda no cuenta la forma que tenía el área rodeada por Dido, pero los matemáticos saben que, con un perímetro dado —la longitud de la cinta— la figura plana que hubo de formar para obtener la superficie máxima hubiera debido ser la de un círculo. Por ello, el más sencillo de los problemas llamados *isoperimétricos* (el de hallar la figura de área máxima entre las que tienen *igual perímetro*) se conoce con el nombre de "problema de Dido".

Como ocurre con otras muchas, la anterior leyenda es sumamente instructiva, poniendo de manifiesto múltiples e interesantes cuestiones (naturalmente, si se hace la *lectura* adecuada de la misma). Por ejemplo:

a) El problema que se le planteó a Dido era el de *optimizar* —más concretamente, *maximizar*— un cierto valor, lo que es el caso diario en muchas situaciones reales.

b) Se trataba, por otra parte, de optimizar una magnitud, el área, sometida a condiciones determinadas —manteniendo fijo el perímetro, concretamente—, como sucede en muchos otros casos.

c) Resulta anecdótico, pero no por ello menos sugerente, el hecho de que el punto de unión entre la historia de un pueblo de comerciantes —Fenicia— y la de una de las potencias bélicas de la Antigüedad —Cartago— fuese, precisamente, el cálculo de un óptimo, actividad preferente de los estrategas militares y económicos.

Algunos ejemplos de optimización Si de las hermosas leyendas de ayer pasamos a las realidades del presente, nos encontramos con numerosos problemas de optimización. Sin ánimo de abrumar al lector, y sólo a título de orientación, cabe citar los ejemplos que siguen:

1º. Un inversor (Estado, empresa, sociedad de cartera, pequeño ahorrador) tiene una cantidad determinada de dinero y la posibilidad de *colocarlo* en diferentes proporciones en varias opciones. Le es posible, por otra parte, establecer las rentabilidades futuras. Desea maximizar sus beneficios.

2º. Un estratega militar cuenta con un determinado arsenal y sabe establecer los daños que el mismo puede infligir al enemigo potencial según se use de uno u otro modo. Desea maximizar las pérdidas de dicho enemigo.

3º. Un ganadero tiene que alimentar a sus reses. Conoce los precios de los distintos productos (forraje, piensos compuestos, etc.) y los contenidos en principios alimenticios (proteínas, grasas, etc.) de los mismos. Sabe, además, las cantidades de dichos principios que, como mínimo, deben recibir diariamente los animales. Quiere minimizar los costes de alimentación de su explotación.

4º. Un fabricante conoce las funciones que dan los ingresos y costes unitarios de un producto determinado que manufactura. Quiere saber el número de unidades que corresponde al beneficio máximo.

5º. La NASA trata de colocar un vehículo espacial en un determinado planeta. Se conocen las ecuaciones de la dinámica del vehículo (y, naturalmente, las de la mecánica celeste). Se sabe *conducir* el vehículo hasta el planeta de muchas maneras (distintas trayectorias recorridas con distintas velocidades, por ejemplo). Se desea alcanzar el planeta con un consumo energético mínimo o, en otro caso, en un tiempo mínimo.

6º. Dos jugadores se juegan una cantidad de dinero a cualquier juego (de habilidad y azar). Cada uno de ellos pretende maximizar sus ganancias.

7º. Sea un determinado proceso dinámico. Según Maupertuis (1698-1759), la Naturaleza actúa de modo que la *acción* producida sea mínima (La *acción* para los autores del siglo XVIII era el producto de la masa, por la velocidad y por la distancia recorrida, o, lo que es lo mismo, la fuerza viva por el tiempo; hoy se suele llamar *acción* al producto de energía por tiempo, lo que coincide, salvo un factor 1/2, con la definición clásica para el caso de un movimiento, ya que la energía cinética es $1/2\ mv^2$ y la *fuerza viva* mv^2, siendo m la masa y v la velocidad del móvil). El principio de Maupertuis se suele denominar también "principio de mínima acción".

8º. Otros matemáticos, físicos y metafísicos han formulado otros principios, según los cuales la Naturaleza se conduce de forma que minimiza ciertas magnitudes físicas (por ejemplo, la energía, el camino recorrido y otras).

Se podría continuar hasta el infinito con ejemplos de situaciones en las que un elemento decisor consciente, o la propia Naturaleza, persigue, o se *comporta como si* persiguiese, *optimizar* —es decir, *maximizar* o *minimizar*— alguna magnitud física, económica o de otra índole. Pero ¿qué quieren decir las palabras *optimizar* y *optimización*? Y desde un punto de vista práctico, ¿cómo se consigue optimizar?

El problema de la optimización Cabe, para esta cuestión como para otras muchas, enfocarla desde diferentes perspectivas y a uno u otro nivel. Por ejemplo, puede estudiarse en clave pragmática: ¿Quién optimiza? ¿Qué optimiza? ¿Para qué?

Antes de contestar habría que recordar que *optimizar* es la acción de llevar una cierta magnitud a su *óptimo*, o sea, a su *máximo* o a su *mínimo*, según se trate de algo que se considera beneficioso o perjudicial, en cuyos casos respectivos se utilizan también los nombres de *maximizar* y *minimizar*.

El anterior párrafo, aparte de por el uso de neologismos, puede criticarse por algunas peticiones de principio. La primera es la de asociar *óptimo* a *máximo* o *mínimo* (olvidando al clásico, que reclamaba la *aurea mediocritas* como estado óptimo de felicidad, y al refranero, que pregona que "en el justo medio está la virtud"). Dicha asociación es, por supuesto, una simplificación y un convenio, con vistas a la posterior formulación matemática. Por otra parte, si una variable real x toma valores entre 0 y 1 y se considera que el óptimo de una magnitud medida por ella se da en 0,5 (y no en ninguno de los valores extremos), es fácil encajar la situación en el esquema antes propuesto: se mide, por ejemplo, la citada magnitud por la nueva variable $y = x\ (1 - x)$, que alcanza un máximo precisamente cuando $x = 0{,}5$.

Este razonamiento trivial es extensible; así, resulta que, incluso, podría suprimirse la duplicidad de considerar máximos y mínimos, ya que el mínimo de x se corresponde con el máximo de $-x$.

Las objeciones pueden tener mayor calado. Porque hablar de *óptimo* como sinónimo de máximo o mínimo supone, implícitamente, que la magnitud que se considera puede valorarse con un criterio o función que toma valores en un intervalo finito de la recta real o, eventualmente, coincidente con una semirrecta, y que máximo o mínimo son accesibles. Como se desprende de lo anterior, también se puede dar a *optimizar* otra acepción, la del proceso de encontrar, buscar o calcular el óptimo que se quiere alcanzar. Cuando se afirma que "el empresario optimizó sus resultados" se usa la primera acepción; cuando se dice que "el matemático resolvió el problema de optimización", la segunda.

Volviendo al planteamiento pragmático, puede ahora decirse que optimizan o pretenden optimizar (en el primer sentido del término) los empresarios, los políticos, los técnicos, los hombres y las mujeres de la calle y, en un sentido antropomórfico, los seres vivos o la propia Naturaleza.

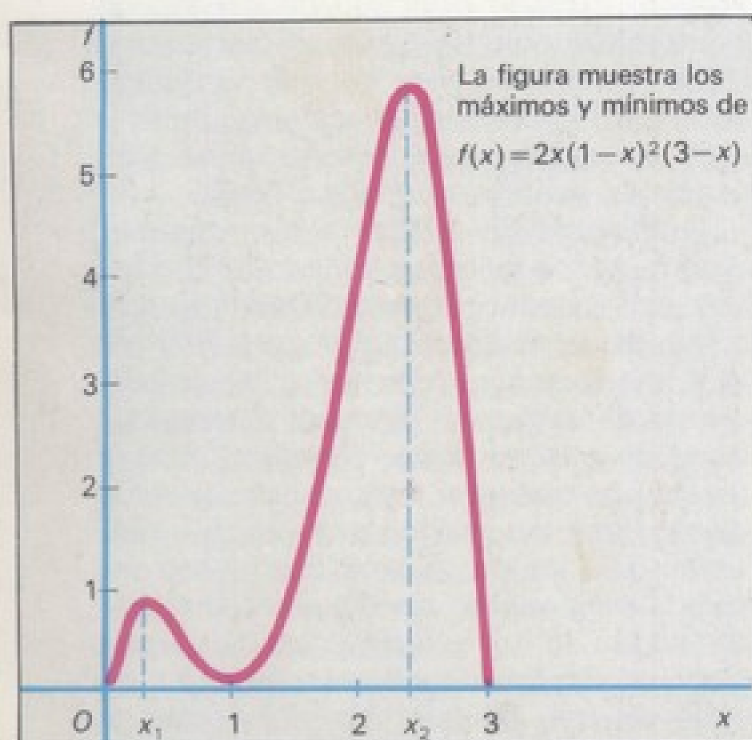
Se optimiza todo tipo de magnitudes para las que se estima o valora que tienen estados preferibles a otros y se quiere alcanzar el de mayor utilidad o satisfacción. Por ejemplo, un empresario puede buscar el máximo beneficio y una gota de lluvia encerrar en una superficie mínima su volumen de agua (otro problema de naturaleza *isoperimétrica* cuya solución se intuye: la superficie es la esférica). Se optimiza, naturalmente, para obtener mayor beneficio, utilidad, ventaja.

Hay un problema en todo esto, y es que parece como si se pusiera en tela de juicio el principio de causalidad de los propios fenómenos naturales; por ejemplo, diciendo que la gota de lluvia busca la esfericidad porque así optimiza una cierta

relación superficie/volumen y no por las leyes de la mecánica de fluidos. Con ello se atribuye un comportamiento antropomórfico al suponer una actitud voluntaria que persigue un propósito, y parece como si se sustituyese la causalidad por la teleología. Sin embargo, no es más que una forma de ver las cosas; tan interpretación causal es decir que un cierto fenómeno físico se produce de una determinada manera porque ha de cumplir una cierta ecuación diferencial de la mecánica, que porque obedece a un principio de mínimo (se puede probar, por otra parte, como hace, por ejemplo, la Mecánica analítica en su campo, que ambas explicaciones coinciden: del principio de mínimo se deducen las ecuaciones dinámicas y recíprocamente). Todo es, pues, una cuestión de enfoque.

Si se considera el segundo aspecto: el semántico, o, en otras palabras, ¿cómo se traducen en términos *formales —matemáticos* se entiende— los problemas de optimización reales? Y ¿qué significación o sentido reales tienen los puros esquemas teóricos que en los libros matemáticos se cobijan bajo la rúbrica de "Métodos de optimización"? La relación es, lisa y llanamente, la de ser abstracciones estos últimos de aquéllos. Una cierta situación estática o un proceso dinámico se modelizan por un sistema de ecuaciones, relaciones, funciones, esquemas topológicos (por ejemplo, *grafos* o *redes*) que admiten un tratamiento estrictamente lógico-matemático; a él se le añade una función *criterio*, es decir, que mide la utilidad, valor, pago, calidad, o como quiera llamársele, de las variables que definen el estado del sistema y que toma valores reales. Después de este trabajo de modelización, viene el de optimización propiamente dicho (en el sentido de la segunda acepción), es decir: el de calcular los valores posibles que toma dicho criterio y establecer los que corresponden a los valores óptimos —máximos o mínimos—.

Se entra así en el problema estrictamente matemático (suponiendo que no lo fuera ya el de modelización), que a su vez puede tener muchos aspectos. Por ejemplo: habrá que estudiar si existe un óptimo o no; establecer, en caso afirmativo, los métodos de determinación; en el caso de que sea necesario saber el valor numérico concreto, preparar el algoritmo de cálculo y, tal vez, los métodos y programas informáticos, etcétera.



La figura muestra los máximos y mínimos de $f(x) = 2x(1-x)^2(3-x)$

Una cuestión ha quedado más o menos apuntada o soslayada, según se mire: la de la existencia y unicidad del *óptimo* (entiéndase, *máximo* o *mínimo*). Evidentemente, por su propia definición, el óptimo es único; sin embargo, puede presentarse la situación de que existan para la función criterio *máximos* (o mínimos, claro está) *relativos*, es decir que sean máximos locales o, en otros términos, tales que para valores de las variables en entornos suyos la función criterio tome valores menores que en ellos pero que, en otros puntos, se encuentren valores superiores.

Por ejemplo: sea la función

$$f(x) = 2x(1-x)^2(3-x) \qquad 0 \leqslant x \leqslant 3$$

un simple examen muestra que $f(x) \geqslant 0$ en todo el intervalo de definición y que, precisamente, se anula en los puntos de abscisas 0, 1 y 3; por lo tanto, tiene tres *mínimos*. Cualquiera de ellos es, a la vez, mínimo local y *minimum minimorum* o absoluto. Si $f(x)$ fuese una función criterio que midiese un perjuicio o un coste, obviamente, el óptimo se daría en cualquiera de dichos puntos y se correspondería a un coste nulo. Por el contrario, la función, como puede verse representándola gráficamente o, mejor, recurriendo a los métodos del análisis clásico para calcular máximos y mínimos de funciones derivables, tiene dos máximos relativos en los puntos

$$x_1 = (11 - \sqrt{73})/8 \simeq 0{,}307$$
$$x_2 = (11 + \sqrt{73})/8 \simeq 2{,}443$$

Ello se obtiene sin más que ver que en esos puntos se anula la derivada primera de $f(x)$, que vale

$$f'(x) = 2(1-x)(4x^2 - 11x + 3)$$

y es negativa la derivada segunda.

De los dos máximos, ¿cuál es el absoluto? Para ello es necesario un razonamiento casuístico, examinando en concreto los valores que toma $f(x)$ en ambos puntos. Se tiene que:

$$f(x_1) \simeq 0{,}791 \qquad \text{y} \qquad f(x_2) \simeq 5{,}664$$

por tanto, el óptimo correspondería al segundo caso.

Otra posibilidad que conviene examinar es la de la accesibilidad del óptimo. Sea por ejemplo, la función $g(x) = x^2$ definida para $0 \leqslant x \leqslant 1$. Un análisis elemental muestra que en $x=0$ y en $x=1$ se dan el mínimo y el máximo respectivamente, cuyos valores son, también, $g(0) = 0$ y $g(1) = 1$. Ahora bien, si se tratase de la función $h(x) = x^2$ definida con el conjunto abierto $0 < x < 1$, se tendría que mínimo y máximo no existirían; en otros términos: para ningún valor de x es $h(x)$ tal que es mayor (o menor) que para todos los demás. En tales casos se suele decir que el máximo (o el mínimo) no es accesible, o con otra terminología, que el *extremo superior* o *supremo* existe (se trataría del valor 1 en el caso de $h(x)$), pero que el máximo no existe, porque $x=1$ no pertenece al dominio de definición de la función; análogamente, se hablaría del *extremo inferior* o *ínfimo* y el mínimo.

En los casos en que se investigan óptimos de funciones criterio de problemas prácticos aquéllos suelen ser accesibles.

Ensayo de clasificación de los problemas de optimización Es posible adoptar distintos criterios para clasificar los problemas de optimización. Sobre todo si se plantea la cuestión en toda su generalidad y se piensa en la posibilidad de estudiar cómo *optimizan* los seres vivos o la propia Naturaleza. Con más modestia, renunciando a tal propósito, cabe limitarse a aquellos problemas que han sido objeto de modelización matemática. Para ellos podrían establecerse los siguientes esquemas de clasificación:

Primero. Puede tratarse de problemas, como los que plantea la mecánica newtoniana o la teoría clásica de la empresa, en los que el modelo matemático —ecuaciones, relaciones, etc.— sea *determinístico*. Por el contrario, como es el caso en muchas cuestiones prácticas, puede ser que se haya recurrido a modelos en términos de distribuciones de probabilidad, y sea por tanto *aleatorio*. Pudiera ser que se tratase de una situación en la que se diera una situación de lucha o competencia, en cuyo caso se trataría de un modelo de *juegos de estrategia*. Por otra parte, cuando el conocimiento que se tiene de una situación no permite un modelo determinista ni probabilístico, a lo mejor cabe aún la posibilidad de utilizar un *modelo borroso* (es decir, usando la teoría de conjuntos borrosos que sustituye el concepto de *pertenencia* clásico —un punto x permite o no a un conjunto A— por otro basado en una función de pertenencia que toma valores cualesquiera entre 0 y 1).

Segundo. Otra posibilidad de clasificación radica en el tipo de variables que se manejan. Por un lado, pueden ser *discretas* (es decir, tomar sólo valores *enteros*) o *continuas*; en algunos problemas prácticos se da también el caso mixto. Son también interesantes los problemas en los que las variables son *booleanas*, es decir, sólo toman valores 0 y 1. Conviene también tener en cuenta el número de variables; así, los problemas pueden ser *uni* o *multidimensionales*. Incluso puede tratarse de problemas *infinitodimensionales*; por ejemplo, el de obtener la función que hace óptimo el valor de una funcional (función cuyos argumentos son funciones). En tal caso, en realidad, se recurre a modelos como los del Cálculo de variaciones o los del moderno Análisis funcional, que los tratan de modo análogo a como el Análisis clásico trataba los problemas de maximizar o minimizar funciones de una o varias variables.

Tercero. Una distinción fundamental, tanto desde un punto de vista práctico

como desde el del tratamiento matemático, es la relativa al caracter estático o dinámico de los problemas. En el primer caso se trata de hallar el óptimo de una situación determinada, modelizada normalmente por funciones y ecuaciones fijas y finitas y en las que la variable tiempo no entra. En el segundo se suele plantear la optimización de un proceso dinámico, representado, por ejemplo, por ecuaciones diferenciales, en las que entra la variable tiempo de modo continuo, o de un proceso secuencial, modelizado por ecuaciones en diferencias finitas, en el que el tiempo entra en la forma de número de etapas. El óptimo de un sistema estático se da para una posición o estado del mismo; por el contrario, el de un sistema dinámico se obtiene para una trayectoria o evolución del mismo que se consigue cuando se aplica una determinada *trayectoria*.

Cuarta. Igualmente importante es el esquema que atiende a la existencia o no de restricciones en la optimización que se busca. El caso más simple es el de optimización de variables libres o sin *restricciones*; es decir: se tienen unas variables, representativas de una situación o proceso y una función criterio; las variables, además, pueden tomar valores reales cualesquiera. Se trata entonces de hallar el máximo, o mínimo, de la función. Esta situación es matemáticamente interesante, pero, desde un punto de vista práctico, poco realista. En primer lugar, las variables suelen pertenecer a conjuntos finitos o con alguna frontera: por ejemplo, en problemas económicos, los precios y las cantidades de los productos deben ser positivos. Por otra parte, lo normal es que existan ecuaciones, funciones u otros tipos de relaciones que den la estructura o dinámica de que se trate y que no se plantee el problema de maximizar o minimizar la función criterio de variables libres, sino de unas sometidas, a su vez, al cumplimiento de aquellas relaciones de estructura. En tales casos se dice que se trata de un problema con *restricciones*.

Métodos y modelos de optimización En realidad, cualquier método, más o menos algorítmico, más o menos heurístico, que se use para calcular un máximo o un mínimo es un método de optimización. Sin embargo, se acostumbra a considerar como tales sólo los más específicos, de los que a continuación, sin afán de exhaustividad ni sistematismo, se relacionan los más importantes.

a) *Cálculo clásico de máximos y mínimos.* Si se tiene una función de una o varias variables con derivadas continuas, el Análisis clásico proporciona un método para obtener máximos y mínimos relativos. En principio, los mismos pueden darse en los puntos donde se anulan las derivadas o en los que la función o sus derivadas presentan discontinuidades (por ejemplo, en la frontera del dominio de definición).

Cuando hay condiciones adicionales, en forma de ecuaciones que ligan las variables, el Análisis proporciona un método denominado de los *multiplicadores* de Lagrange, de gran interés. Consiste en sumar a la función que hay que maximizar o minimizar tantos términos como ecuaciones adicionales; cada término se forma tomando la relación y multiplicándola por un término indefinido —el *multiplicador* de Lagrange—. Después, las propias relaciones adicionales y las ecuaciones obtenidas al imponer la condición de máximo o mínimo permiten obtener los valores de los *multiplicadores* y de las variables que dan el óptimo.



Joseph Louis Lagrange (1736-1813), uno de los matemáticos más notables de todos los tiempos, contribuyó a numerosas ramas de las matemáticas, entre ellas el Cálculo de variaciones. Su obra más importante fue la *Mécanique Analytique* (1788). Lagrange gozó de enorme prestigio en su época. Napoleón, que le condecoró y ennobleció, le llamó "la pirámide excelsa de las ciencias matemáticas".

b) *Programación matemática.* Cuando se tiene una función criterio a optimizar, restricciones sobre las variables (por ejemplo, que sean positivas) y, además, condiciones adicionales en forma de igualdades o desigualdades entre ellas, se suele decir que se tiene un *programa matemático.* Obtener sus soluciones es el objeto de la *programación* matemática, rama relativamente nueva y especializada de las matemáticas que utiliza recursos propios del Algebra lineal, la Teoría de funciones, etc. Entre los problemas de programación matemática el más simple es el de la *programación lineal,* que corresponde al caso de que función criterio y condiciones sean lineales. Pero hay otros muchos problemas: el de programación convexa, programación en números enteros, etcétera.

c) *Cálculo de variaciones clásico.* Cuando se da la integral de una cierta función que, a su vez, depende de los valores (todos) que tome otra función incógnita en un intervalo, el problema de optimizar dicha integral es el que trata el Cálculo de variaciones clásico. Ya Euler dio importantes resultados sobre el mismo (las ecuaciones que llevan su nombre), y durante los siglos XVIII y XIX adquirió su formulación definitiva. Los principios de mínimo de la Física, cuando se aplican los resultados de dicho cálculo, permiten derivar las ecuaciones diferenciales de la Física matemática clásica.

d) *Teoría de control óptimo.* Si se tiene un sistema dinámico, representado por una o varias ecuaciones diferenciales, aparte de determinadas condiciones iniciales y finales, interviniendo en aquéllas junto a las variables de estado del sistema las que se llaman variables de control, y se quiere optimizar alguna función o funcional dependiente de los valores finales o intermedios de las variables, se está en presencia de un problema de control óptimo (por ejemplo, la dinámica de un cohete se modeliza por unas ecuaciones diferenciales, a las que hay que añadir posición inicial y final —el *blanco*— y hay que maximizar o minimizar, por ejemplo, el tiempo o el camino recorrido, la energía consumida, etc.).

e) *Programación dinámica y optimalidad.* En el caso de procesos formulados como procesos secuenciales (es decir, con una sucesión de etapas sucesivas) en variables discretas, suele utilizarse una serie de métodos y modelos que se conocen con el nombre de *programación dinámica,* que se apoya en la aplicación de un principio de apariencia casi trivial, pero sumamente fértil, debido al matemático americano Bellman y llamado de *optimalidad* que, en una formulación simple puede enunciarse en la siguiente forma: *Un proceso secuencial polietápico sólo es óptimo si lo es en cada etapa.* Puede probarse que este principio resulta equivalente al llamado *principio de mínimo* de Pontryagin, que da las condiciones que deben cumplirse para obtener el óptimo en el caso del control de sistemas dinámicos representados por ecuaciones diferenciales, cuando se aplica a éstos.

f) *Métodos de búsqueda de extremos.* Aparte de los métodos y modelos citados, hay que reseñar numerosas técnicas más o menos heurísticas, que se engloban en el nombre genérico de *métodos de búsqueda de extremos.* Uno muy interesante es el de *búsqueda de Fibonacci.* La idea es simple: consiste, para el caso sencillo de una función real de una variable real, *unimodal* (con un solo máximo) y con derivada continua, en dividir el intervalo de definición en dos, examinar los valores en los tres puntos de división, deducir de ellos en qué subintervalo debe caer el máximo, volver a dividir éste, etc. Se for-

ma así una sucesión de intervalos, cada vez más pequeños, que van *encajando* al máximo. El nombre de Fibonacci se le da a este método porque la sucesión llamada del mismo modo aparece al establecer relaciones entre las longitudes de los sucesivos intervalos. Otras técnicas —de "descenso o ascenso mínimo" por ejemplo— se basan en conceptos intuitivos análogos a los que un escalador aplicaría para alcanzar una cima.

g) *Métodos de análisis funcional.* Los métodos de Análisis clásico, los de programación en general, los del Cálculo de variaciones, etc. pueden formularse de un modo más unitario, viéndolos como casos particulares de maximización o minimización generales, como lo hace el Análisis funcional moderno, en el que los conceptos de derivada, aproximación, etc. se han generalizado para funciones que toman valores en espacios abstractos (cuyos elementos pueden ser puntos geométricos, números, funciones, etc.).

h) *La teoría de juegos.* Cuando la situación real —competencia, conflicto, guerra, etc.— sólo puede modelizarse como un *juego de estrategia*, en el que cada contendiente busca optimizar sus ganancias, los métodos anteriores no sirven y es preciso recurrir a la teoría de juegos iniciada por von Neumann. Es interesante señalar que esta conecta, por una parte, con la programación lineal (cuando se trata de los juegos llamados *rectangulares*) o con la teoría de control óptimo, cuando se estudia un problema de control como un juego contra la Naturaleza.

i) *Optimizaciones probabilística y borrosa.* En lo anterior se ha supuesto que las relaciones que definían las situaciones en estudio eran fijas y determinadas; en otras palabras, el universo era determinista y las funciones matemáticas que lo definían, de las establecidas en la Teoría de conjuntos y el Análisis clásico. Pero la situación puede que sea o, lo que tiene consecuencias análogas, el conocimiento que de ella se tenga, tal que sólo admita una modelización probabilística, mediante distribuciones de probabilidad (si el problema es estático), o mediante procesos estocásticos (si es dinámico) y se esté en un caso de *optimización aleatoria* o *estocástica*.

Por regla general dichos problemas se reducen a otros de naturaleza matemática más simple, análogos a los de los casos determinísticos, considerando que lo que se debe optimizar es la *media* o *esperanza matemática* de la función criterio (es decir, la media, ponderada probabilísticamente, de los valores aleatorios que puede tomar la función criterio).

Más complejo (entre otras cosas porque es mucho más novedoso) es el caso de los problemas modelizados por la teoría de conjuntos borrosos, para los que, actualmente, se ensayan interesantes y prometedores métodos.

j) *Métodos topológicos.* En numerosas ocasiones el mejor método de modelizar un proceso es mediante un *grafo*, un *diagrama* u otra representación topológica, o analítico-topológica si la misma se acompaña de datos numéricos o funciones. Procedimientos de optimización, más o menos sistemáticos y formalizados, más o menos *ad hoc*, adaptados a tales modelos, a veces en combinación, con técnicas analíticas, son también muy usados. En tal campo caerían los métodos propios o emparentados con la teoría de grafos (PERT, camino crítico, etc.) que conectan o combinan, a veces, con los de programación lineal, programación dinámica, etc.

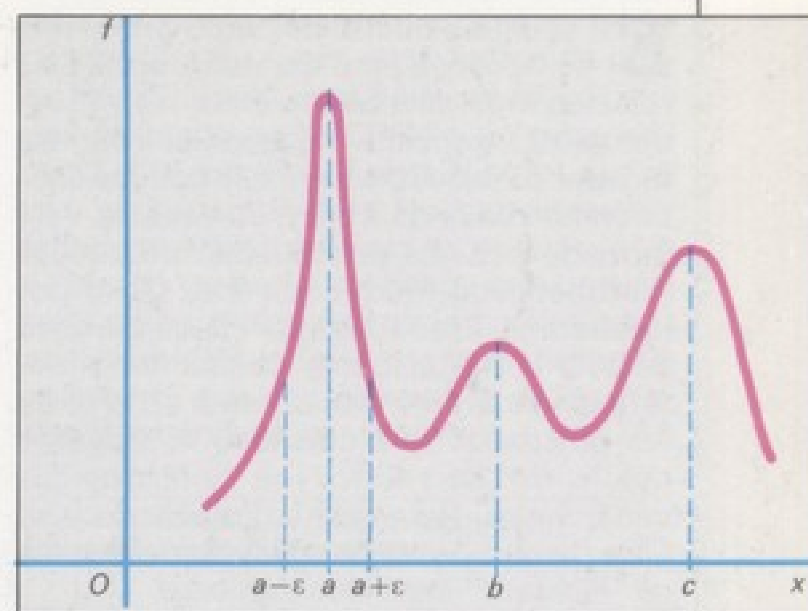
Notas finales Múltiples cuestiones, aparte de la imposible tarea de mostrar problemas y métodos concretos, se han quedado sin explicitar. A modo de simple alusión y en forma telegráfica se citan algunas.

La primera es la relativa a la propia modelización. Existen, a veces, serias dificultades de conocer las funciones que definen un sistema o situación, sean deterministas o probabilísticas y hay que adoptar algunas hipótesis para enfrentarse con ellas sobre todo si hay que optimizar en un horizonte aleatorio.

Otro tipo de dificultades surgen en torno a la cuestión del cálculo práctico del óptimo. Una veces por el tipo de relaciones o datos, otras, las más, por el problema de la dimensionalidad. Un problema real de un modelo de programación lineal —conceptualmente muy simple— puede involucrar cientos de variables; tal es el caso de los *grandes sistemas* (economía nacional, red eléctrica, etc.). El uso de grandes ordenadores y la implementación del *software* apropiado pueden ser la solución, aunque no siempre. Se recurre, a veces, a la descomposición de los sistemas en subsistemas o *descentralización*, etc. Existen modelos y métodos para conseguirlo pero no siempre son satisfactorios a niveles teórico y práctico.

Otro tipo de problemas es el de la *estabilidad*. Se trata de los siguiente: supongamos que una cierta función f toma su máximo en un cierto valor a, pero que es muy *sensible* a las variaciones de a; es decir que $f(a \pm \varepsilon)$ toma valores, para ε pequeño, muy alejados de $f(a)$, e inferiores a los que toma f en otros máximos relativos. Si a esa sensibilidad se une que, por razones prácticas —falta de precisión en la medida de los valores del sistema real que se incluyen en la expresión de f, errores de cálculo numérico, etc. —puede ser difícil conocer a— resulta quimérica la pretensión de optimizar.

En los dos casos antes citados, y en aquellos en los que hay problemas (de medida, de teoría de cálculo, de aplicación práctica, etc.) en los que, a lo mejor (o peor) hay serios inconvenientes para calcular o alcanzar los óptimos, suelen adoptarse *estrategias de suboptimización*, es decir, de asegurarse valores que no corresponden al óptimo (más o menos inalcanzable) pero suponen un óptimo local o el que da, por ejemplo, el óptimo para un subsistema.



A veces, como muestra la figura, un pequeño error en la posición del óptimo puede conducir a valores muy alejados del mismo.

Por último, conviene señalar una dificultad de fondo. En todo lo dicho se ha supuesto que las variables que definen el sistema en estudio pueden ser como se quiera (reales, complejas, vectoriales, puntos de espacios muy generales —por ejemplo, de funciones—, etc.) pero que la calidad, mérito o utilidad podía medirse mediante una sola función de las mismas que tomase valores en la recta real (y, en el caso más simple y sin problemas, en un intervalo finito y cerrado de la misma). Ahora bien; en numerosas situaciones reales —piénsese en las que se le presentan a una empresa, a un Estado o a una simple familia— resulta que hay varias *funciones criterio* para valorar la situación. En tales casos hay que prescindir de todas menos una, u optimizar en cada caso y luego, con algún criterio *ad hoc*, elegir o, cosa muy usual y discutible, establecer una sola *función criterio* que sea una combinación ponderada de todas ellas. Cuando todas estas ideas fracasan —por la esencial irreductibilidad de los criterios— se está en presencia de un problema de *optimización multicriterio* que, a pesar del nombre, es de una naturaleza bastante diferente de los que hasta ahora se han reseñado. Sin casi entrar en la cuestión cabe citar el concepto de *óptimo de Pareto*, que es el que corresponde a una configuración de las variables tales que satisfaciendo todas las condiciones impuestas no hay ninguna otra que *sea mejor* desde el punto de vista de los valores de las *funciones criterio*. Se dice que la configuración A es mejor que la B si para ninguna *función criterio* los valores obtenidos en A son *peores* que en B y al menos para una es *mejor* (suponiendo que *peor* y *mejor* significan *menor* o *mayor*, o lo contrario, según que las *funciones criterio* tengan significación de *beneficios* o *pérdidas*). Existen teoremas y procedimientos relativos a los *óptimos Pareto* pero, la verdad sea dicha, la propia dificultad de la cuestión hace que ni la teoría ni la práctica hayan llegado lejos.

Véase **Derivada y diferencial; Investigación operativa; Modelo matemático; Programación matemática; Teoría de la decisión; Teoría de juegos**

Optoelectrónica

En el último cuarto del siglo XIX el físico escocés John Kerr descubrió una relación muy interesante entre luz y electricidad. El dispositivo que utilizó para demostrar su descubrimiento se conoce ahora como *célula de Kerr* y, en esencia, está formado por una película fina de líquido (nitrobenceno) que rodea unos filtros polarizadores diseñados especialmente para enfocar la luz incidente de una forma determinada. El objeto es obtener un rayo de luz polarizada que atraviese el conjunto célula de Kerr-filtros en determinadas condiciones. Para que la luz atraviese el filtro de nitrobenceno, el haz tiene que estar "alineado" convenientemente.

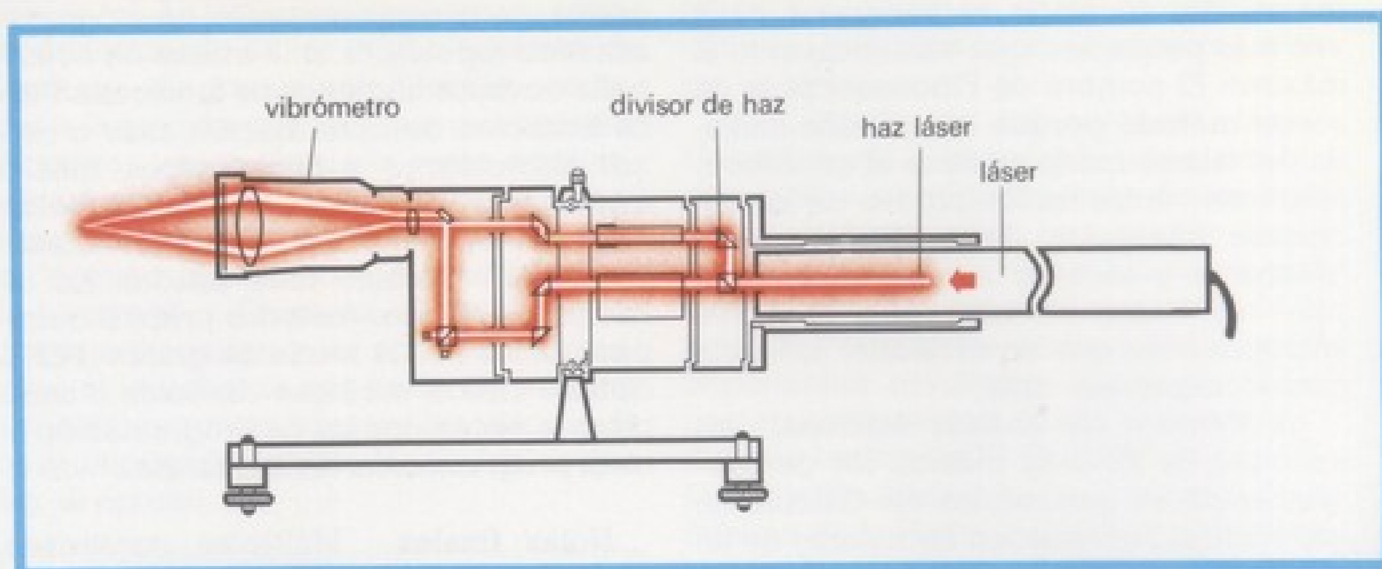
Una célula de Kerr, como tal, es sólo una pantalla opaca que no deja pasar la luz. Pero si se aplica una pequeña tensión eléctrica al nitrobenceno, se vuelve inmediatamente transparente y la luz puede atravesarla. La célula de Kerr se conoce también con el nombre de *obturador optoelectrónico* y se puede utilizar como obturador ultrarrápido, sustituyendo a los obturadores mecánicos, relativamente lentos y que, en general, no pueden fotografiar fenómenos muy rápidos.

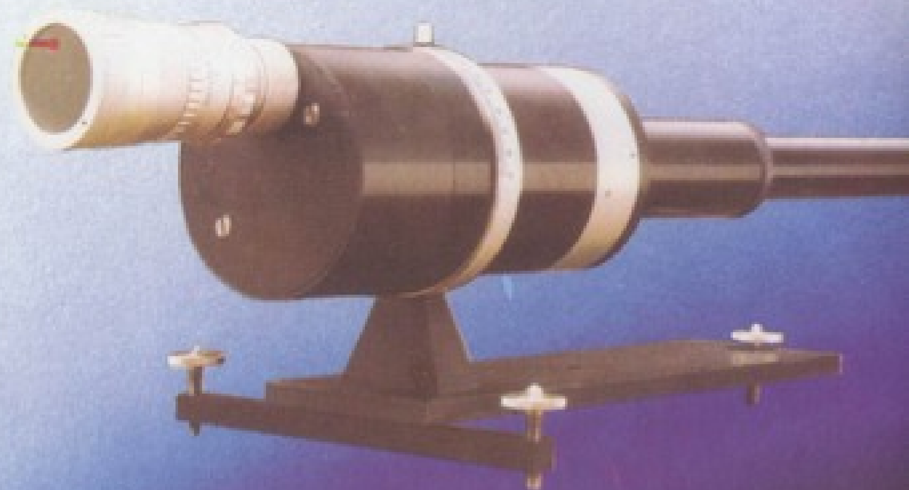
Optica integrada moderna El efecto electroóptico Kerr tiene aplicaciones mucho más amplias que la simple utilización en la fotografía de alta velocidad y en la cinematografía. La aplicación quizá más importante se realizó en 1960, cuando se desarrolló el primer láser. Este rayo de ondas luminosas de una sola frecuencia (monocromático), perfectamente en fase entre ellas (haz coherente), se puede utilizar para transmitir información.

El pequeño aparato utilizado para generar los mensajes se conoce como circuito óptico integrado, y es un conjunto compacto de pequeños láseres, interruptores, prismas y espejos, que enviará la luz a través de filtros polarizadores y "moduladores" eléctricos. Estos moduladores utilizan impulsos de corriente eléctrica para codificar el flujo de luz láser de forma parecida a la célula de Kerr. La codificación se realiza produciendo una pequeña alteración en el período de la señal (es decir, el intervalo de tiempo transcurrido entre el advenimiento de una cresta y la cresta siguiente). Miles de señales con codificaciones diferentes pueden viajar juntas en el mismo haz láser, siempre que cada una de ellas se distinga de las demás y se pueda separar, por tanto, en el dispositivo optoelectrónico receptor sin que se produzcan interferencias entre unas y otras.

El futuro La tecnología ha tenido que realizar grandes esfuerzos para conseguir que los distintos impulsos de luz no se difundieran de forma desordenada o llegaran a anularse unos a otros. Recientemente la industria tecnológica ha conseguido producir cables de fibra óptica capaces de transmitir millones de señales a grandes distancias, utilizando repetidores en distintos tramos para reforzar la señal adecuadamente. Cuando una de las señales llega a su destino, se somete a un proceso que es exactamente el inverso del que se había aplicado en la conversión del impulso eléctrico en impulso luminoso, y se vuelve a transformar en electricidad. Así, en parte del ciclo, la señal luminosa sustituye ventajosamente a la señal eléctrica. Aquélla, más rápida, transporta una mayor cantidad de información y, como medio de comunicación, resulta más económico que los sistemas telefónicos totalmente eléctricos.

Aunque la Optoelectrónica está teniendo cada vez más aplicaciones en el campo de las comunicaciones, es también aplicable a otros muchos dispositivos, importantes en diversos campos. Los foto-







Una aplicación típica de los fenómenos electrónicos junto con los rayos láser consiste, por ejemplo, en detectar vibraciones que no podrían percibirse con rayos ópticos normales. En la imagen de la parte superior de esta página aparece un adaptador del vibrómetro y un sistema láser Doppler. Más arriba, justo encima de esa imagen, se recoge la representación esquemática del recorrido de los rayos. El láser Doppler es uno de los sistemas más sofisticados para medir las vibraciones sin tan siquiera tocar el objeto vibrante, que puede presentarse tanto en estado sólido como en estado líquido. Mediante la utilización del efecto Doppler se pueden obtener las distintas características de la vibración, como son, por ejemplo, su frecuencia y su amplitud. Este efecto es muy utilizado en Astronomía.

multiplicadores para astronomía, los instrumentos de visión nocturna y los aparatos de carga acoplada para fotografía electrónica —que han permitido dotar de visión a los robots industriales— son todos ellos dispositivos optoelectrónicos.

A medida que se vaya descubriendo cómo procesar más tipos de información para introducirlos en los sistemas de información de carácter eléctrico, y también óptico, se irán ampliando las posibilidades de la Optoelectrónica.

Una de las características más llamativas de un circuito óptico son sus minúsculas dimensiones. Toda la instrumentación necesaria para conseguir una transmisión óptica puede estar contenida dentro de un circuito integrado no mayor que una pequeña moneda. Esto es extraordinario si se tiene en cuenta la sofisticación que es necesaria para realizar prismas y lentes gruesas y macizas, cuya tecnología es mucho menos complicada que la necesaria para los dispositivos de película fina con diámetros inferiores a la milésima de milímetro, que son necesarios en los dispositivos ópticos integrados.

Véase **Célula de Kerr; Efecto Doppler; Fotomultiplicador; Láser; Optica**

Disa Electronik, Copenhagen



E. Magistrelli, Milán

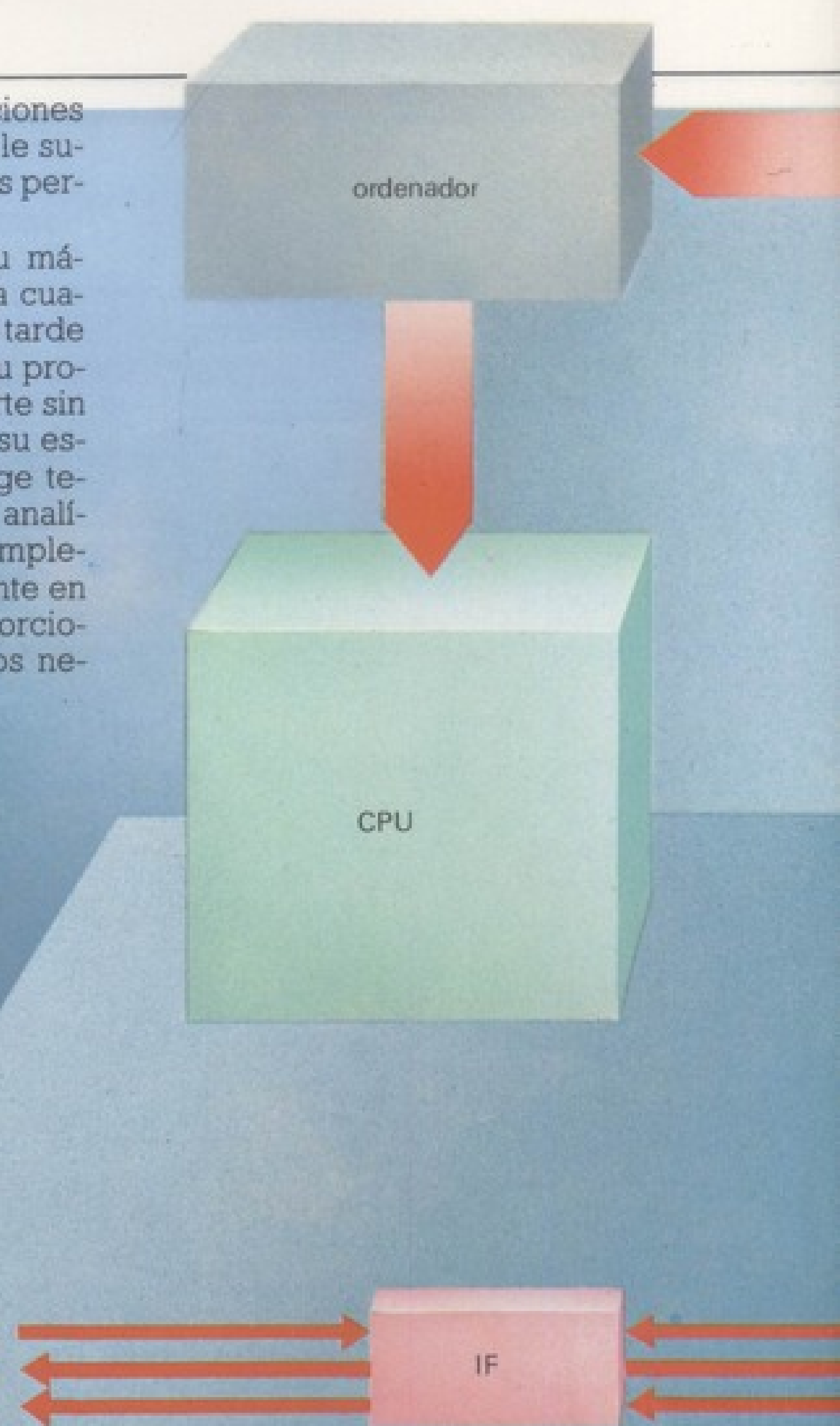
Arriba, a la izquierda, esquema de utilización de un visor nocturno montado sobre una cámara. El operador pretende fotografiar un gato situado a una distancia de unos 70 m, acurrucado debajo de una furgoneta. La fuente de luz más cercana, una farola, está 150 m más lejos que el objeto de la fotografía. La foto se realiza de noche y el resultado es sorprendente, como se puede comprobar en la fotografía que figura a la izquierda de estas líneas. Se ha utilizado una película de 800 ASA y un objetivo de 300 mm con diafragma 2,8. Sobre estas líneas, el grupo formado por la máquina fotográfica, el intensificador de imagen y la óptica necesaria para realizar tomas fotográficas en ausencia casi total de luz. El intensificador de imagen puede aumentar del orden de 45.000 a 55.000 veces la intensidad luminosa de la escena que se intenta fotografiar en tales condiciones.

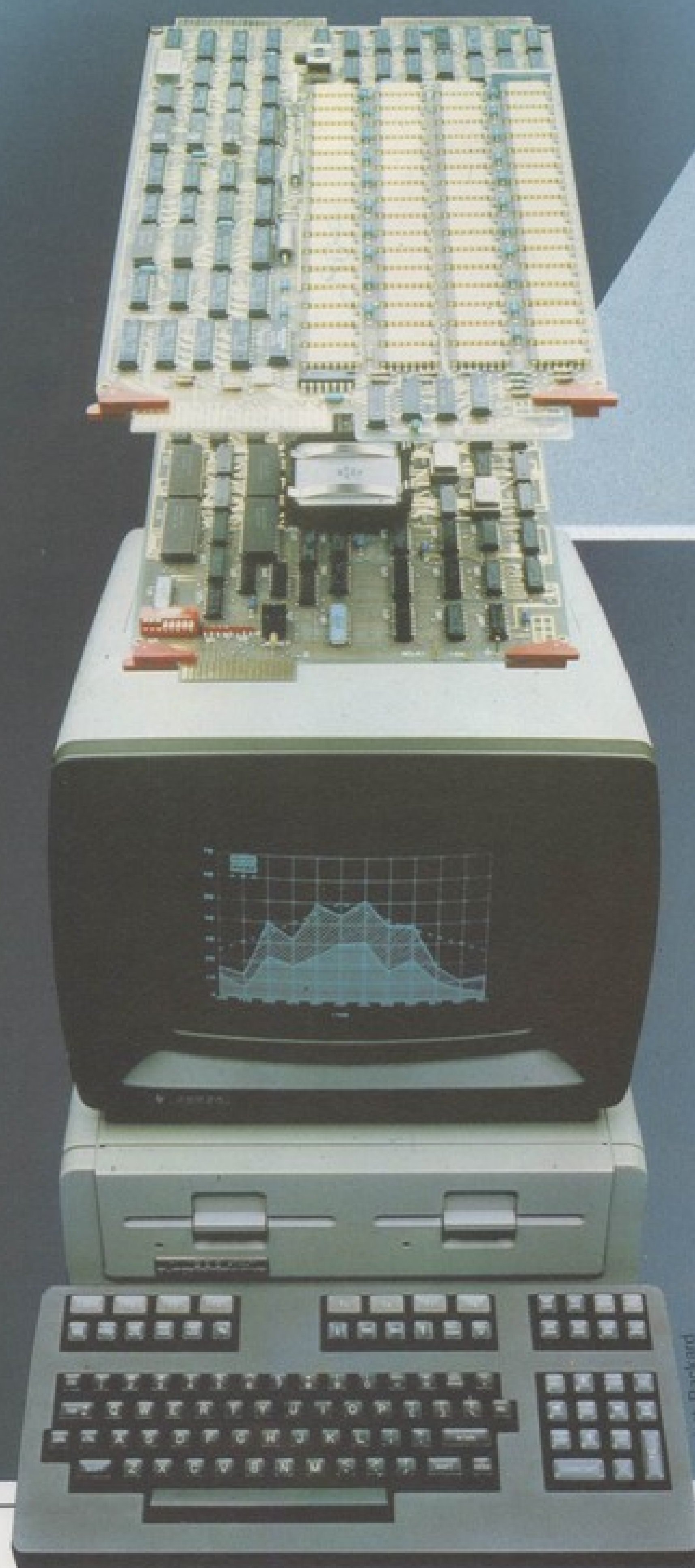
Ordenador

Buscando los orígenes de los modernos ordenadores, se encuentra el caso curioso de un personaje significativo en la historia humana: el matemático e ingeniero inglés Charles Babbage (1792-1871), que dedicó casi cuarenta años de su vida a trabajar en una máquina para que funcionase con engranajes accionados por un motor de vapor.

En realidad, la máquina analítica —así fue dada a conocer por su propio inventor— se parecía bastante a los ordenadores electrónicos construidos en nuestros tiempos. Igual que los ordenadores modernos, la máquina de Babbage tenía una memoria para almacenar las informaciones y una sección, conocida como "el molino", para llevar a cabo las operaciones aritméticas. Los datos de entrada se le suministraban por medio de unas fichas perforadas.

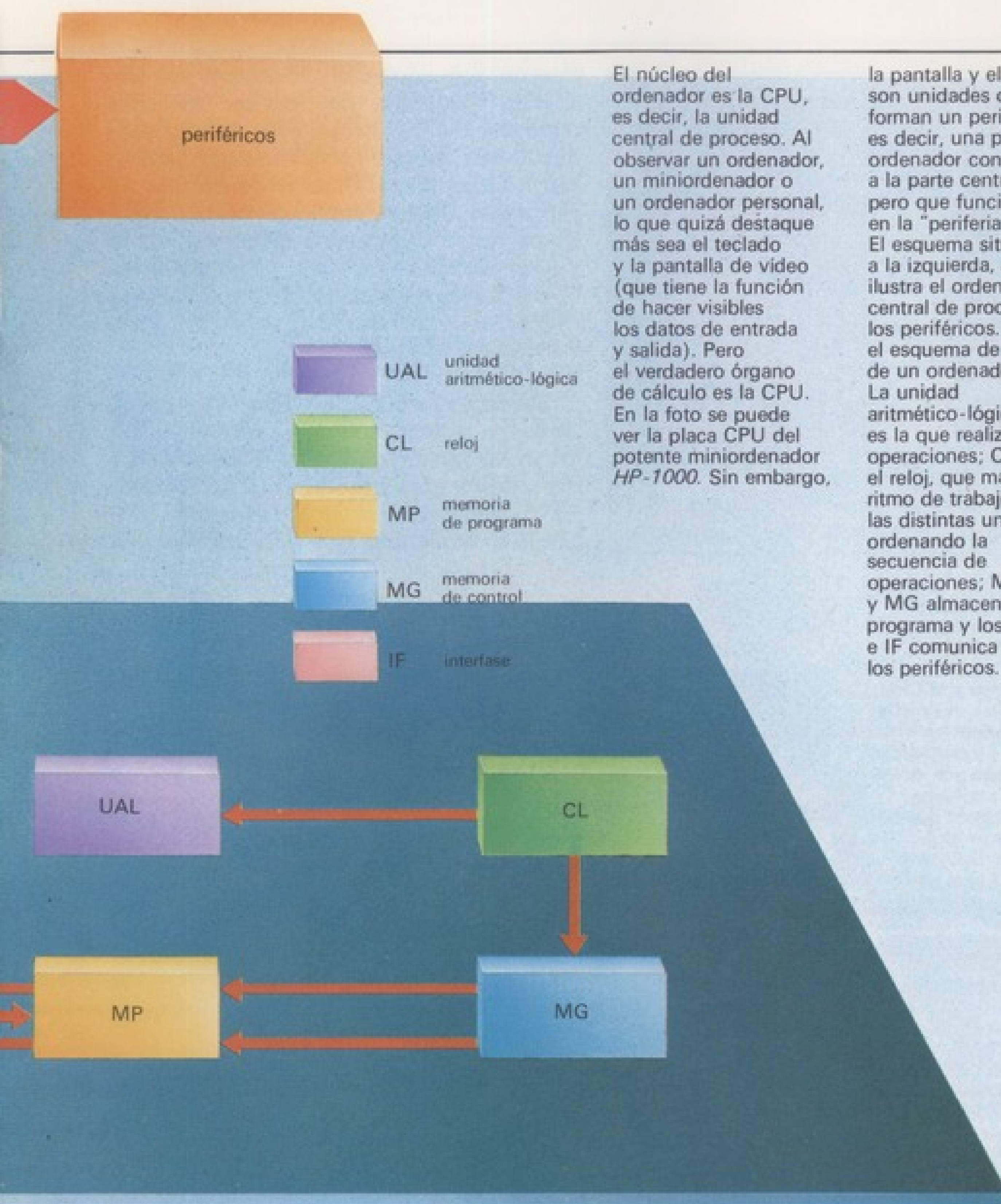
Babbage empezó a proyectar su máquina analítica en 1832, cuando tenía cuarenta años; treinta y ocho años más tarde seguía trabajando celosamente en su propósito cuando le sorprendió la muerte sin haber podido ver los resultados de su esfuerzo. Aunque las ideas de Babbage tenían una base correcta, su máquina analítica no se llegó nunca a terminar completamente porque la tecnología existente en aquella época no era capaz de proporcionar la gran cantidad de mecanismos necesaria para su construcción.





Los primeros ordenadores electrónicos modernos El primer ordenador electrónico de gran capacidad de la época moderna que tuvo éxito fue el *Mark I*, construido en 1944. Se trataba de un monstruo mecánico de 2,5 metros de altura y 15 metros de longitud, que tenía aproximadamente 800.000 piezas entre relés, pulsadores y componentes electrónicos. Más que de una máquina electrónica, se trataba de un conjunto de máquinas sumadoras controladas por cintas perforadas, parecidas a los rodillos de las viejas pianolas en las que los pequeños agujeros de unos rollos de papel hacían que se movieran automáticamente las teclas. El *Mark I*, igual que la máquina de Babbage, usaba registros mecánicos para almacenar los números, pero estaba controlado por señales eléctricas emitidas por dichos registros, es decir, se trataba más de un ordenador electromecánico que electrónico.

En 1946 nació el primer ordenador completamente electrónico, con el nombre de *ENIAC*. Las operaciones de cálculo estaban controladas por válvulas en vez de por relés electromecánicos, con lo que se conseguía una velocidad de trabajo mil veces superior a la del *Mark I*. La invención del transistor, en 1947, y de los de-



El núcleo del ordenador es la CPU, es decir, la unidad central de proceso. Al observar un ordenador, un miniordenador o un ordenador personal, lo que quizá destaque más sea el teclado y la pantalla de vídeo (que tiene la función de hacer visibles los datos de entrada y salida). Pero el verdadero órgano de cálculo es la CPU. En la foto se puede ver la placa CPU del potente miniordenador *HP-1000*. Sin embargo, la pantalla y el teclado son unidades que forman un periférico, es decir, una parte del ordenador conectada a la parte central, pero que funciona en la "periferia". El esquema situado a la izquierda, arriba, ilustra el ordenador, central de proceso y los periféricos. Debajo, el esquema de bloques de un ordenador. La unidad aritmético-lógica, UAL, es la que realiza las operaciones; CL es el reloj, que marca el ritmo de trabajo de las distintas unidades, ordenando la secuencia de operaciones; MP y MG almacenan el programa y los datos, e IF comunica con los periféricos.

más componentes de estado sólido, en los años cincuenta y sesenta, significó valiosas innovaciones que hicieron posible la producción de los actuales ordenadores electrónicos, más veloces, de menores dimensiones y más manejables. El desarrollo de los microprocesadores en los años setenta ayudó notablemente al progreso de la industria de los ordenadores, haciendo posible la construcción de microordenadores del tamaño de una calculadora y de terminales portátiles a bajo costo, que se han hecho populares en los últimos años entre las pequeñas empresas y el público en general.

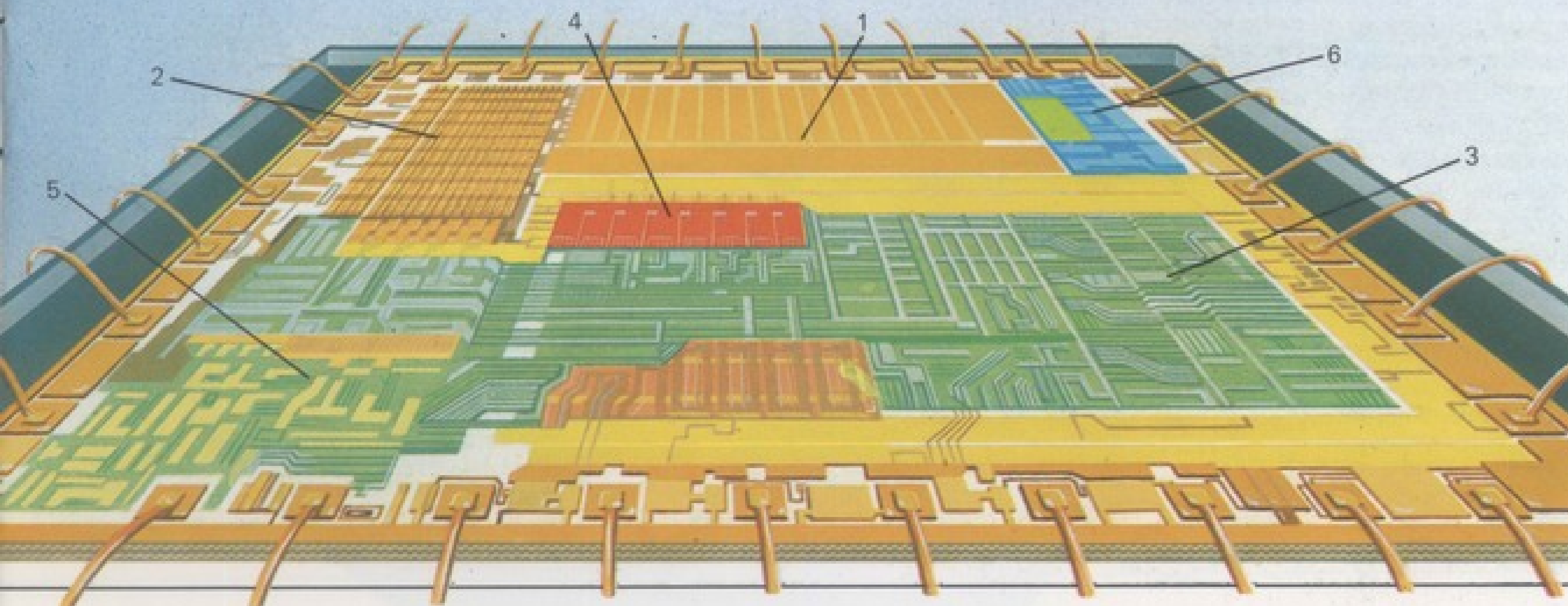
Dos tipos de calculadoras electrónicas

En principio, existen dos tipos distintos de calculadoras: las *calculadoras digitales* u *ordenadores*, que son las más usuales (cuando se habla de un ordenador, se hace referencia generalmente a una calculadora digital), y las *calculadoras analógicas*. La diferencia principal entre ambos tipos es que los ordenadores "cuentan", mientras que las calculadoras analógicas "comparan".

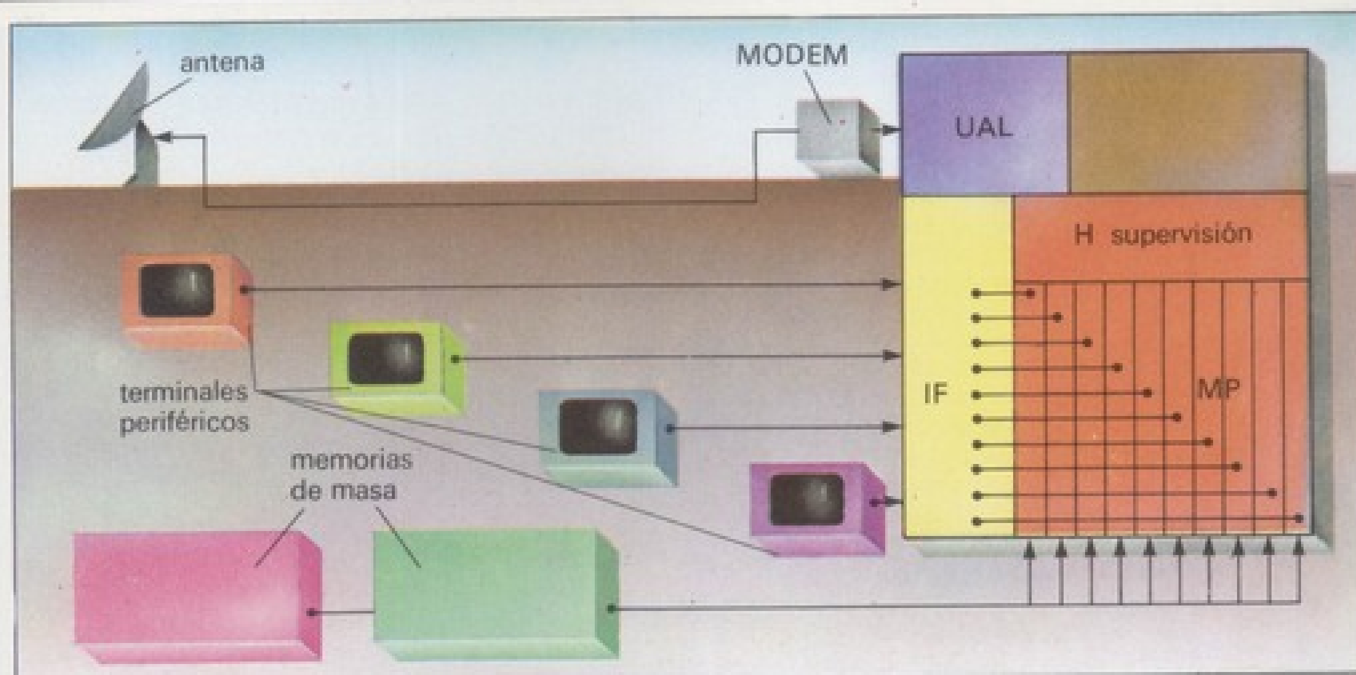
Un ordenador trabaja con números o cifras y lleva a cabo operaciones —como resolver problemas— en las que se necesita tanto la función de contar como la de comparar. Las cifras utilizadas por los ordenadores son las del sistema binario, basado en dos alternativas. Por ejemplo, las posibilidades binarias pueden ser: cara o cruz, encendido o apagado, sí o no, las líneas o los puntos del código Morse. En el caso de los ordenadores, las dos posibilidades alternativas son las cifras 0 y 1. Cada una de estas dos cifras binarias se llama *bit* (contracción del inglés *bi*nary di*git*, que significa "dígito binario") y todos los datos se pueden representar por las llamadas *secuencias* o series de bits (o sea, de ceros y unos), de la misma forma que un mensaje en código Morse está representado por una serie de puntos y rayas.

El funcionamiento de los circuitos electrónicos digitales se puede comprender si se compara con el de un interruptor eléctrico. En este caso, cuando el interruptor está abierto (*on*) corresponde a la cifra binaria "1", mientras que cuando está cerrado (*off*) corresponde a la cifra binaria "0".

Los ordenadores son de *propósito general*, es decir, se pueden programar para que realicen tipos de trabajo muy variados; mientras que las calculadoras analógicas se diseñan para realizar tareas específicas: son, pues, de *propósito especial*. La palabra *analogía* significa "parecido en determinados aspectos entre cosas que son diferentes". Por eso las calculadoras electrónicas analógicas funcionan según analogías eléctricas de un problema, "viendo" la respuesta al problema a través de la analogía. Las calculadoras analógicas resuelven los problemas midiendo y procesando una magnitud que representa a otra. Por ejemplo, un termómetro que mide la temperatura según la longitud que alcanza una columna de mercurio es un modelo de instrumento analógico. En general, las calculadoras analógicas se utilizan en procesos de fabricación y realizan



A la izquierda, una vista muy aumentada (unas veinte veces) de un ordenador completo en un *chip*, es decir, en una plaquita de silicio de pocos milímetros de lado. 1) Memoria de sólo lectura, borrable y reprogramable; 2) memoria de programa; 3) intérprete de las instrucciones; 4) unidad aritmético-lógica; 5) unidad que asigna prioridades en la ejecución de las operaciones; 6) interfase para comunicar con las unidades periféricas.



cuerpo principal del ordenador; las memorias auxiliares pueden ser de cinta magnética o de discos, y se utilizan para almacenar datos o programas que se usarán a largo plazo. Cuando se ejecuta un programa, éste se almacena en la memoria principal; a partir de ella se van extrayendo las instrucciones, se realizan las operaciones especificadas, y el resultado —si existe—, se vuelve a almacenar en la memoria principal.

Unidades de entrada-salida La unidad de entrada introduce en el ordenador tantos datos como programas. Existen distintos medios para introducir la información en los ordenadores. Uno de los más utilizados es el *teclado*, que permite al opera-

funciones como la comprobación de los equipos de las máquinas-herramienta. Los fabricantes de materiales plásticos, por ejemplo, pueden utilizar calculadoras analógicas para regular la duración e intensidad de los procesos químicos que tienen lugar en la fabricación de los referidos materiales.

Las llamadas *calculadoras híbridas* reúnen las características y funciones de los ordenadores y de las calculadoras analógicas.

Tipos de ordenadores y partes principales Los ordenadores varían mucho en dimensiones y posibilidades de aplicación: desde los ordenadores personales, que son prácticamente "de bolsillo", hasta los grandes ordenadores, que pueden llegar a ocupar un espacio similar al que ocupa una pista de tenis y cuyo costo es muy elevado.

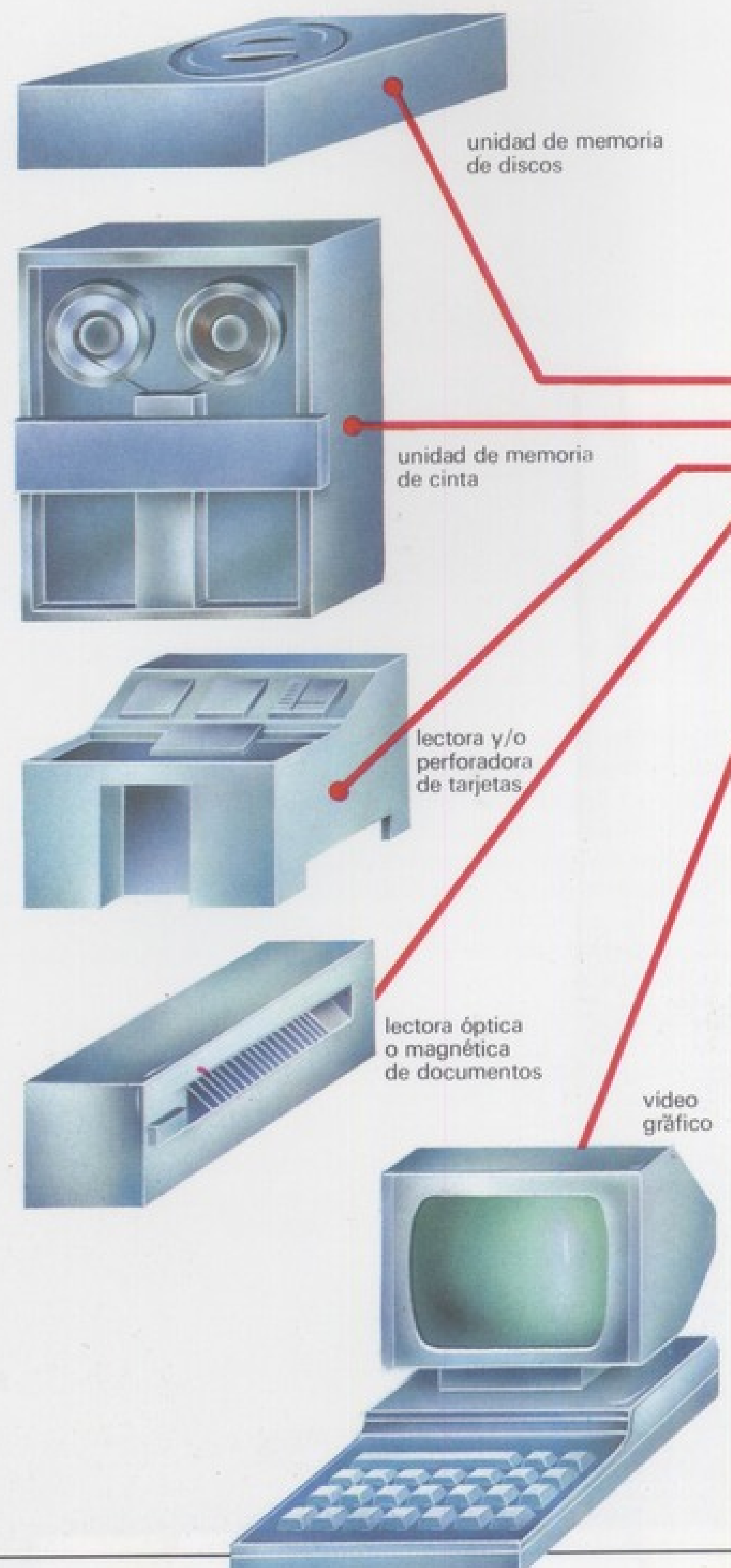
Todos los ordenadores, desde el más grande al más pequeño, tienen tres partes principales: la *unidad central de proceso* (CPU), la *memoria* y las *unidades de entrada-salida*.

Unidad central de proceso Esta unidad, que es el núcleo del ordenador, está formada por dos partes: la unidad de control y la unidad aritmético-lógica. La *unidad de control* regula el flujo de instrucciones y datos, y envía órdenes a todas las demás unidades del ordenador según esté establecido en el programa. De una forma parecida a como los guardias regulan el tráfico, la unidad de control organiza la circulación de información, recogiendo las instrucciones de la memoria principal, dando órdenes de cómo operar a la unidad artimético-lógica y mandando información a la unidad de salida.

La *unidad aritmético-lógica* (UAL) trabaja igual que una calculadora electrónica dentro del ordenador y realiza rápidamente sumas, restas, multiplicaciones, divisiones y otras operaciones aritméticas y lógicas necesarias para el cálculo.

Memoria La *memoria principal* almacena las instrucciones y los datos que recoge de las unidades de entrada o de las *memorias auxiliares*, situadas fuera del

Veamos cómo se pueden conectar a un mismo ordenador muchos periféricos, llamados así porque están unidos a la CPU de un único ordenador desde lugares distintos. La posibilidad de que cada una de las unidades periféricas opere al mismo tiempo que las otras está confiada a una parte de la CPU, que tiene grabado el programa "supervisor", como se ve en el esquema de arriba. El cuadrado grande representa la parte de la CPU dedicada a la distribución de los recursos de trabajo entre los distintos periféricos. La parte que opera es en realidad la UAL, que sin embargo sólo sigue las órdenes recibidas. Por esto se necesita alguna unidad que organice el conjunto. Se puede ver que la memoria de programa está subdividida en varias zonas con forma de rectángulos verticales: cada una de ellas se dedica a un solo periférico. La parte de circuitos comprendida en la denominación "supervisor" se encarga de comunicar, una por una, cada una de las zonas de memoria con la unidad aritmético-lógica, que ejecutará una parte del programa y se detendrá para atender a la siguiente zona, hasta que recoja la primera después de un ciclo. En estas operaciones puede darse la necesidad de comunicar con las memorias de masa. Los terminales periféricos se han indicado todos como pantallas de vídeo, aunque pueden ser de distinto tipo, como se indica en el dibujo grande, a la derecha.



dor comunicar al ordenador, a través de las teclas, caracteres tanto alfabéticos como numéricos. Normalmente las unidades de teclado tienen también una *pantalla de TRC* (tubo de rayos catódicos), parecida a un televisor, que hace posible el control y corrección, si es necesario, de los datos que se están introduciendo.

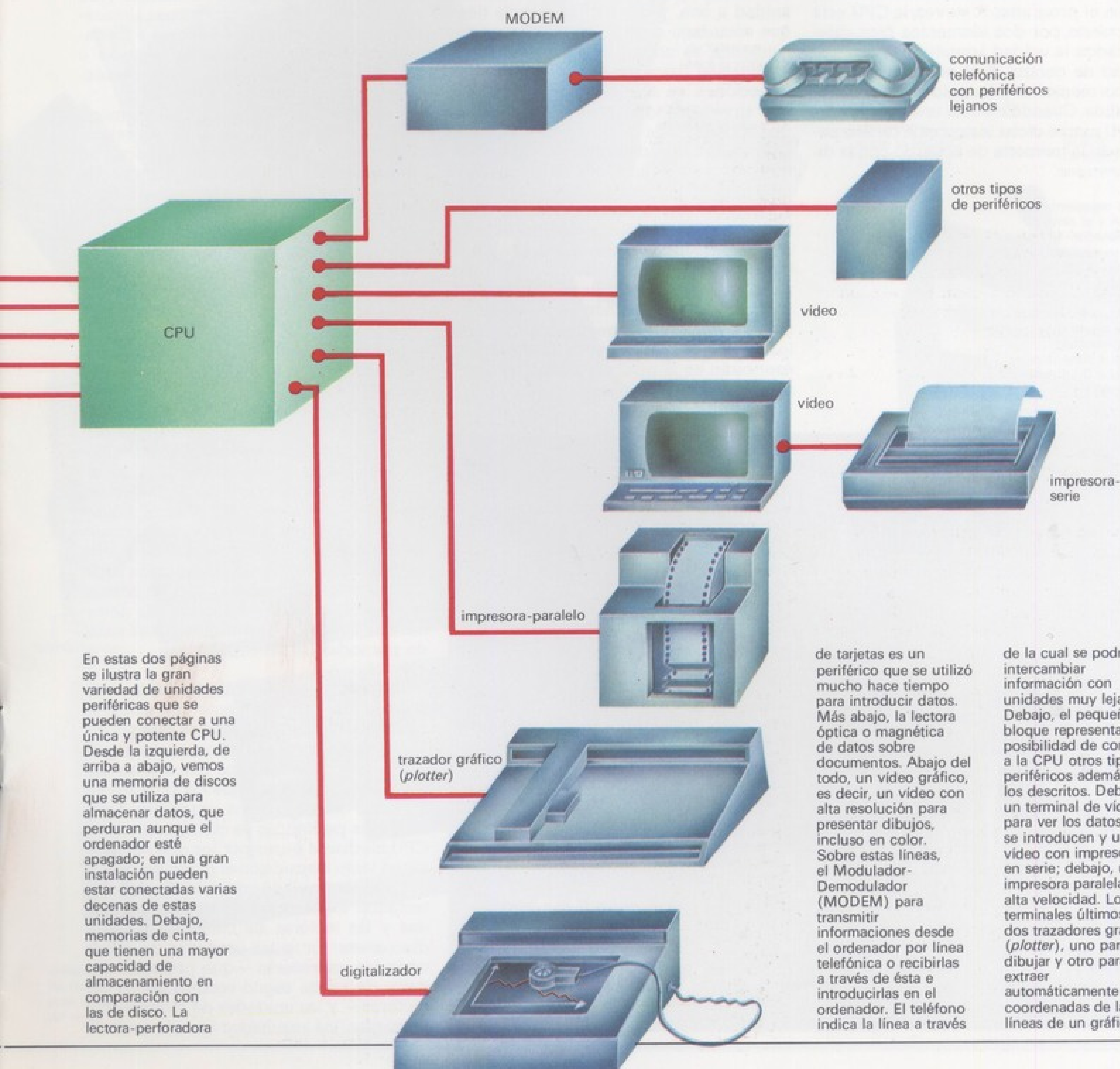
Las unidades de salida pueden transferir la información del ordenador al usuario también a través de distintos medios. Uno de los dispositivos más comunes como unidad de salida es la *pantalla de vídeo* (TRC). En caso de estar este terminal junto al de entrada, se utiliza la misma pantalla para las dos funciones. Otra unidad de salida muy utilizada es la *impresora*, que proporciona los resultados escritos en papel. También existen unidades de salida *perforadoras de tarjetas* o *grabadoras de cintas*.

Programación de un ordenador Un ordenador se puede comparar a un empleado-robot obediente, pero al que es necesario especificar las tareas a realizar y su orden preciso. Esta función se hace a través del *programa*.

Personas especializadas en el trabajo de programar (programadores) piensan de antemano el programa, que está formado por una serie de instrucciones. La mayor dificultad a la hora de programar está no en escribir el programa en el lenguaje que se utilice, sino en saber adaptar el problema de nuestra forma de pensar a una forma que pueda ser procesada por el ordenador.

Lenguajes de programación Existen distintos tipos de lenguajes para programar ordenadores, como son el COBOL, FORTRAN, BASIC o ALGOL, que se eligen en función del tipo de trabajo que se tenga que realizar.

Véase **Calculadora de bolsillo; Microordenador; Miniordenador; Ordenador, arquitectura de un; Ordernador, lenguajes de; Ordenador, memoria de; Ordenador, periféricos; Ordenador, programas; Ordenador, terminal; Ordenador, unidad central de proceso; Ordenador personal**



En estas dos páginas se ilustra la gran variedad de unidades periféricas que se pueden conectar a una única y potente CPU. Desde la izquierda, de arriba a abajo, vemos una memoria de discos que se utiliza para almacenar datos, que perduran aunque el ordenador esté apagado; en una gran instalación pueden estar conectadas varias decenas de estas unidades. Debajo, memorias de cinta, que tienen una mayor capacidad de almacenamiento en comparación con las de disco. La lectora-perforadora de tarjetas es un periférico que se utilizó mucho hace tiempo para introducir datos. Más abajo, la lectora óptica o magnética de datos sobre documentos. Abajo del todo, un vídeo gráfico, es decir, un vídeo con alta resolución para presentar dibujos, incluso en color. Sobre estas líneas, el Modulador-Demodulador (MODEM) para transmitir informaciones desde el ordenador por línea telefónica o recibirlas a través de ésta e introducirlas en el ordenador. El teléfono indica la línea a través de la cual se podrá intercambiar información con unidades muy lejanas. Debajo, el pequeño bloque representa la posibilidad de conectar a la CPU otros tipos de periféricos además de los descritos. Debajo, un terminal de vídeo para ver los datos que se introducen y un vídeo con impresora en serie; debajo, una impresora paralela de alta velocidad. Los dos terminales últimos son dos trazadores gráficos (*plotter*), uno para dibujar y otro para extraer automáticamente las coordenadas de las líneas de un gráfico.

Ordenador, arquitectura de un

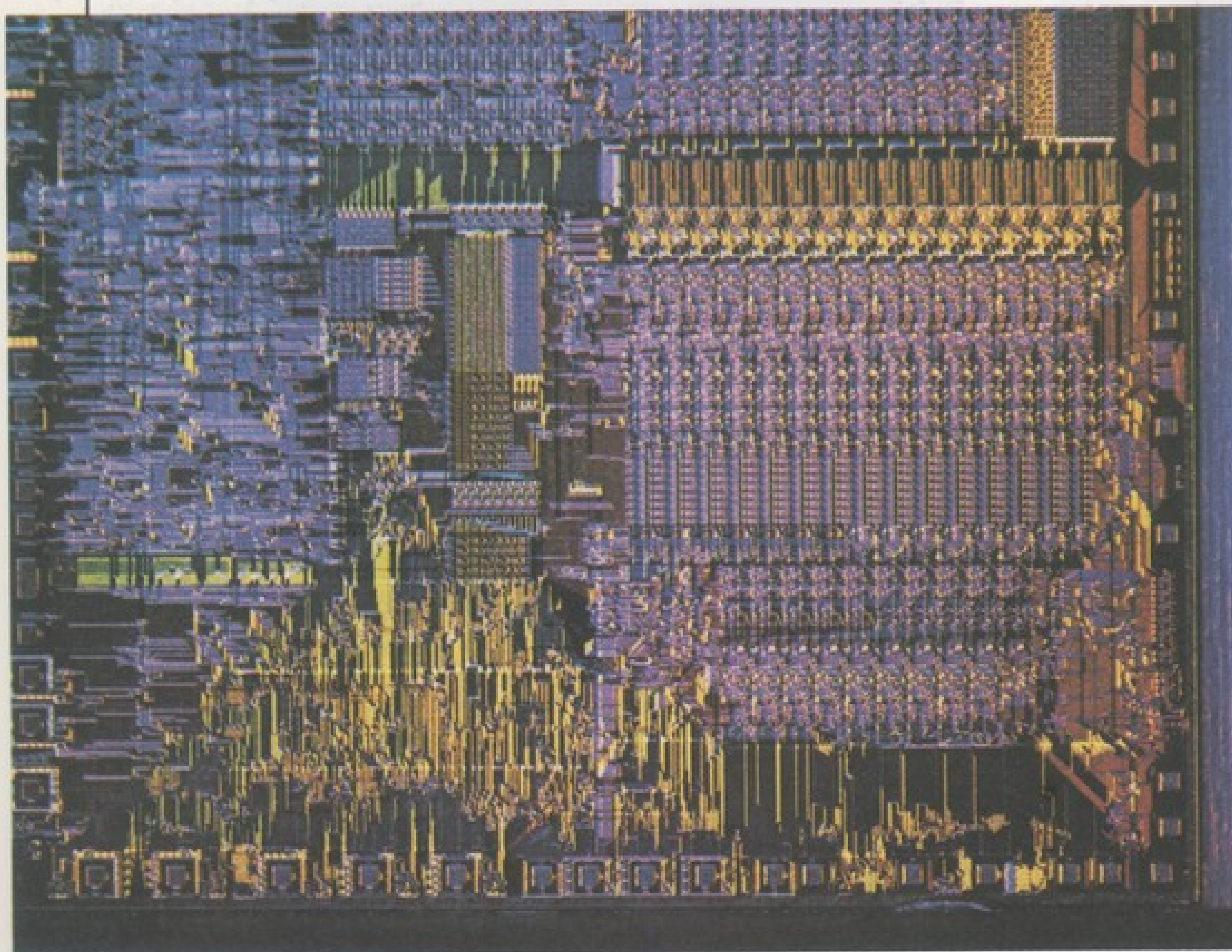
Los sistemas de procesamiento de datos son un conjunto de dispositivos electrónicos y mecánicos capaces de ejecutar programas de proceso de información codificados en binario. En lo que respecta al *hardware*, o sea, los componentes físicos del sistema, se pueden distinguir algunos elementos fundamentales, que son: la unidad central de proceso (CPU, *Central Process Unit*), las memorias centrales y auxiliares, las unidades de entrada y salida (I/O, *Input/Output*) y los sistemas de transferencia de información y datos *(bus* o *canal*).

La arquitectura del ordenador está formada por el conjunto de todos estos componentes.

CPU La CPU es el "corazón" del ordenador. Su misión consiste en interpretar y ejecutar todas las instrucciones contenidas en el programa. A su vez, la CPU está compuesta por dos elementos bien diferenciados: la unidad aritmético-lógica y la unidad de control. Está en comunicación con las memorias y las unidades de entrada-salida. Cuando ejecuta una instrucción, la CPU extrae dicha instrucción de una palabra de la memoria de acuerdo con la dirección proporcionada por un registro (el contador de programa), la decodifica, la ejecuta y actualiza el contador de programa para hacer que el programa siga en la instrucción siguiente.

La *unidad aritmético-lógica* (ALU, *Aritmetic-Logic Unit*) tiene la misión de realizar las operaciones aritméticas y lógicas. La ALU puede hacer operaciones de suma, resta, comparación, puesta a cero, complementación, etcétera. La *unidad de control* tiene la función imprescindible de garantizar que las distintas señales lleguen a la unidad a la que están destinadas y que se lleven a cabo las transferencias de datos necesarias para realizar las operaciones.

Los *buses* Las informaciones y datos que se utilizan en el interior del ordenador tienen que poder mandarse de una unidad a otra, y dicha transferencia tiene que estar bajo control. Para realizar estas funciones, se utilizan tres canales de comunicación, llamados *buses*. Por el *bus de direcciones* se transmite la información que sirve para identificar las direcciones de las posiciones de memoria en las que se encuentra un determinado dato o instrucción y las direcciones de las distintas unidades de entrada-salida. Por el *bus de control* circulan las señales de control, que tienen, entre otras, la función de comunicar a la memoria si tiene que leer o escribir en la posición de memoria "direccionada". Por el *bus de datos* se transmite hacia la CPU la información leída en la posición de memoria "direccionada", o bien los datos que, procedentes de la CPU, se escribirán en la posición de memoria "direccionada".



El *chip* representa el corazón y el alma de un ordenador: se trata de un pequeño cubo de silicio en el que están colocados muchísimos transistores; como ejemplo, piénsese que el de la figura está muy aumentado y que sus dimensiones reales son 0,15 × 0,10 milímetros.

Las memorias centrales Existen dos tipos de memoria central, que corresponden a dos funciones distintas. La primera es la memoria de sólo lectura *(Read Only Memory*, ROM), que contiene las microinstrucciones para el funcionamiento lógico del sistema. Esta memoria no se puede borrar ni reescribir. Por ejemplo, a partir de la memoria ROM, la CPU lleva a cabo los controles preliminares de las funciones de las distintas partes del sistema en el momento de encendido, preparando la máquina para la ejecución de los programas. El segundo tipo de memoria central es la memoria de acceso aleatorio *(Random Access Memory*, RAM), en la que se cargan cada vez los programas y los datos y que constituye la memoria de trabajo. La CPU extrae de ella durante la ejecución del programa tanto las instrucciones como los datos que someterá a procesamiento. A su vez, la RAM recibe los programas almacenados en las memorias auxiliares y los datos introducidos mediante el teclado u otro dispositivo de entrada-salida, poniéndolos a disposición de la CPU.

La estructura típica de una memoria central (RAM o ROM) es la de una retícula de celdas, o sea, unidades capaces de almacenar un determinado número de bits (el *bit* es la unidad básica de información, materializada en un "0" ó un "1" en el código binario).

Normalmente, la unidad "direccionable" más pequeña está formada por ocho bits y se llama *byte* (u *octeto*). Una dirección, por tanto, determina un byte.

Las memorias auxiliares Las memorias auxiliares se utilizan para almacenar datos y programas. Se conocen también como *memorias de masa*. Las tecnologías más comunes en este sector son los discos y las cintas magnéticas, y, más recientes y en perspectiva, los videodiscos digitales. Los discos magnéticos pueden ser rígidos o flexibles *(hard disk* y *floppy disk)*, y, en cualquier caso, son de acceso aleatorio, en el sentido de que se puede acceder directamente a la dirección pedida. Las cintas, en cambio, son de acceso secuencial, es decir, se alcanza una determinada dirección después de haber pasado por todas las precedentes.

Las unidades de entrada-salida Un sistema de procesamiento de datos se completa con los dispositivos que permiten al operador interaccionar con la máquina, proporcionarle los datos y las instrucciones que tienen que ser procesados y recibir los resultados obtenidos. Estas unidades periféricas se comunican con la CPU mediante *buses* por los que se transmiten tanto instrucciones como datos.

Entre las unidades de entrada están los teclados, las lectoras de tarjetas perforadas y las lectoras de cintas magnéticas, discos, etc. Entre las unidades de salida están las impresoras —que presentan los datos de salida según secuencias de caracteres— y las unidades de vídeo —que presentan los resultados en una pantalla

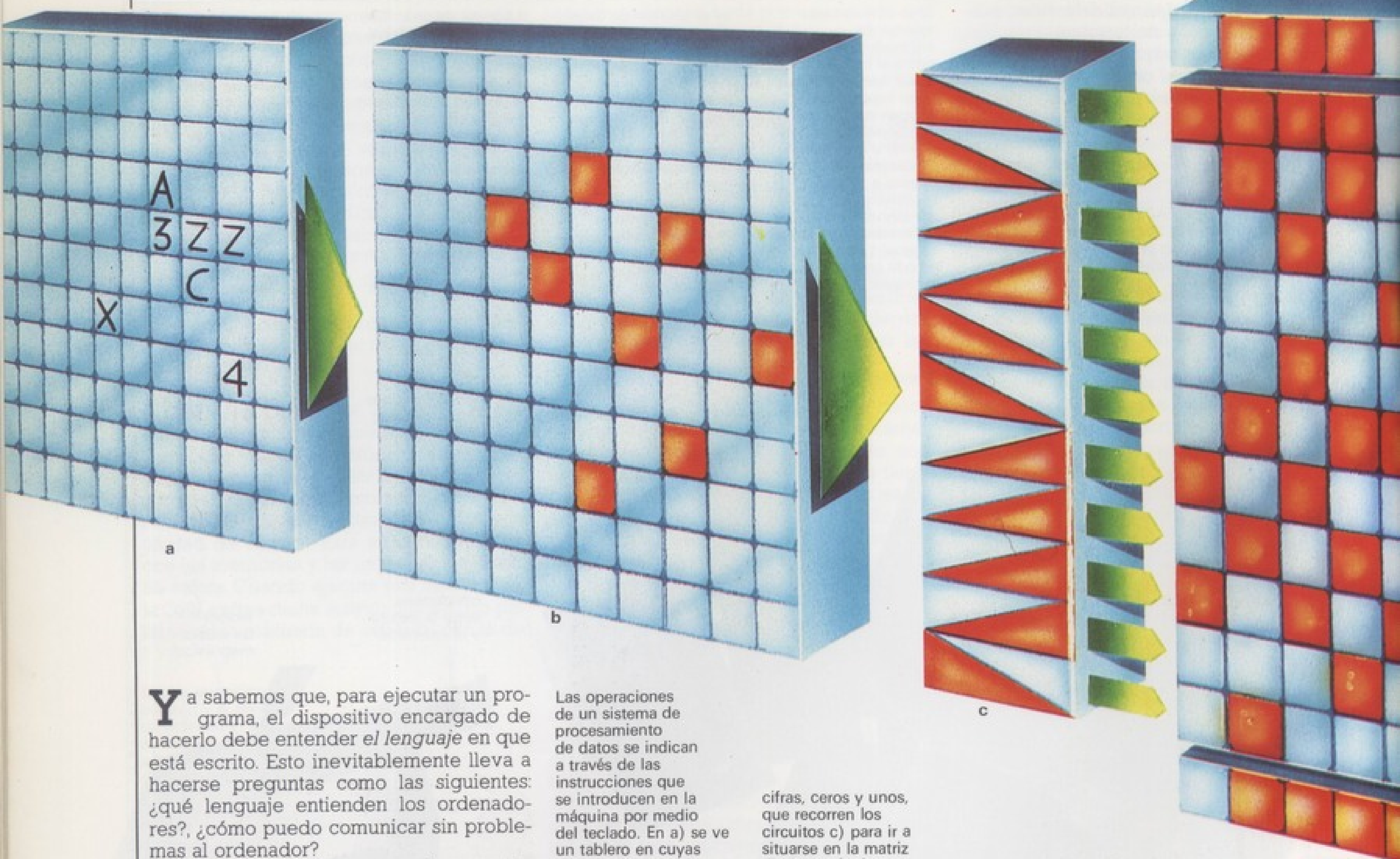
de televisión—. La pantalla de vídeo puede tener la función de terminal o periférico de entrada, en cuyo caso es posible introducir datos en el ordenador dibujando en la pantalla con un lápiz óptico.

Véase **Microordenador; Miniordenador; Ordenador; Ordenador, lenguajes de; Ordenador, memoria de; Ordenador, programas; Ordenador, terminal; Ordenador, unidad central de proceso; Ordenador personal**

Si se abre la caja externa de un ordenador personal, como el representado abajo, sorprende el poco espacio que ocupan sus componentes: ello es debido a la extrema miniaturización, gracias a la cual muchísimos componentes están condensados en pocas tarjetas. La tarjeta más grande contiene un microprocesador, que es el corazón de todo el sistema, con una capacidad de 56 instrucciones distintas para las operaciones lógicas y aritméticas. Encima, ocho ranuras de conexión permiten que se expanda el sistema y por tanto aumentar la flexibilidad de uso. A las ocho ranuras se pueden conectar tarjetas con circuitos programados para distintos usos, como el control de una impresora automática, la posibilidad de comunicar con otro ordenador, etc. Debajo de la zona ocupada por el microprocesador está el área ocupada por la RAM (Random Access Memory) o Memoria de Acceso Aleatorio. Se trata de la memoria de la que se puede reclamar inmediatamente cualquier dato. El ordenador de la figura tiene una RAM de 64 K, donde K tiene el valor de 1.024 bytes. En total tiene, por tanto, una capacidad de 65.536 bytes. A la izquierda de la gran tarjeta central está la tarjeta de lenguaje con 16 K de RAM, a la derecha, la tarjeta de interfase con la impresora y la placa de interfase para el control de discos magnéticos, de los que vemos un ejemplar y la lectora.



Ordenador, lenguajes de



Las operaciones de un sistema de procesamiento de datos se indican a través de las instrucciones que se introducen en la máquina por medio del teclado. En a) se ve un tablero en cuyas filas están escritas las instrucciones con un determinado código. Estas se traducen en b) a una sucesión de cifras, ceros y unos, que recorren los circuitos c) para ir a situarse en la matriz d). Después, los circuitos e) ponen en contacto las filas de esta matriz con la unidad aritmética f).

Ya sabemos que, para ejecutar un programa, el dispositivo encargado de hacerlo debe entender *el lenguaje* en que está escrito. Esto inevitablemente lleva a hacerse preguntas como las siguientes: ¿qué lenguaje entienden los ordenadores?, ¿cómo puedo comunicar sin problemas al ordenador?

El ordenador está preparado para ejecutar directamente las instrucciones que componen el *lenguaje máquina*. En la programación en lenguaje máquina se hace imprescindible conocer la estructura interna del ordenador. De hecho, cuando escribimos un programa en lenguaje máquina hay que especificar una posición para cada dato e instrucción almacenados, dándole su propia dirección en la memoria.

Esta forma de programa se mantuvo hasta mediada la década de los cincuenta, en que la aparición de ordenadores cada vez más rápidos y con mayor capacidad de memoria hizo evidente lo inadecuado del procedimiento, tal como ponen de manifiesto estas consideraciones:

a) El programador estaba forzado a adecuar sus programas a las características particulares de la máquina que tenía disponible; por tanto, debía considerar todos sus detalles, incluyendo la organización de la CPU y su repertorio básico de instrucciones. Era, pues, imposible efectuar un trasvase de programas de un ordenador a otro distinto, y, lo que era aún peor, no existía una metodología común en la programación.

b) La ligazón del programador a un tipo de máquina no sólo permitía sino que incluso propiciaba la invención y aplicación de cualquier clase de "truco" para conseguir un funcionamiento óptimo de su ordenador.

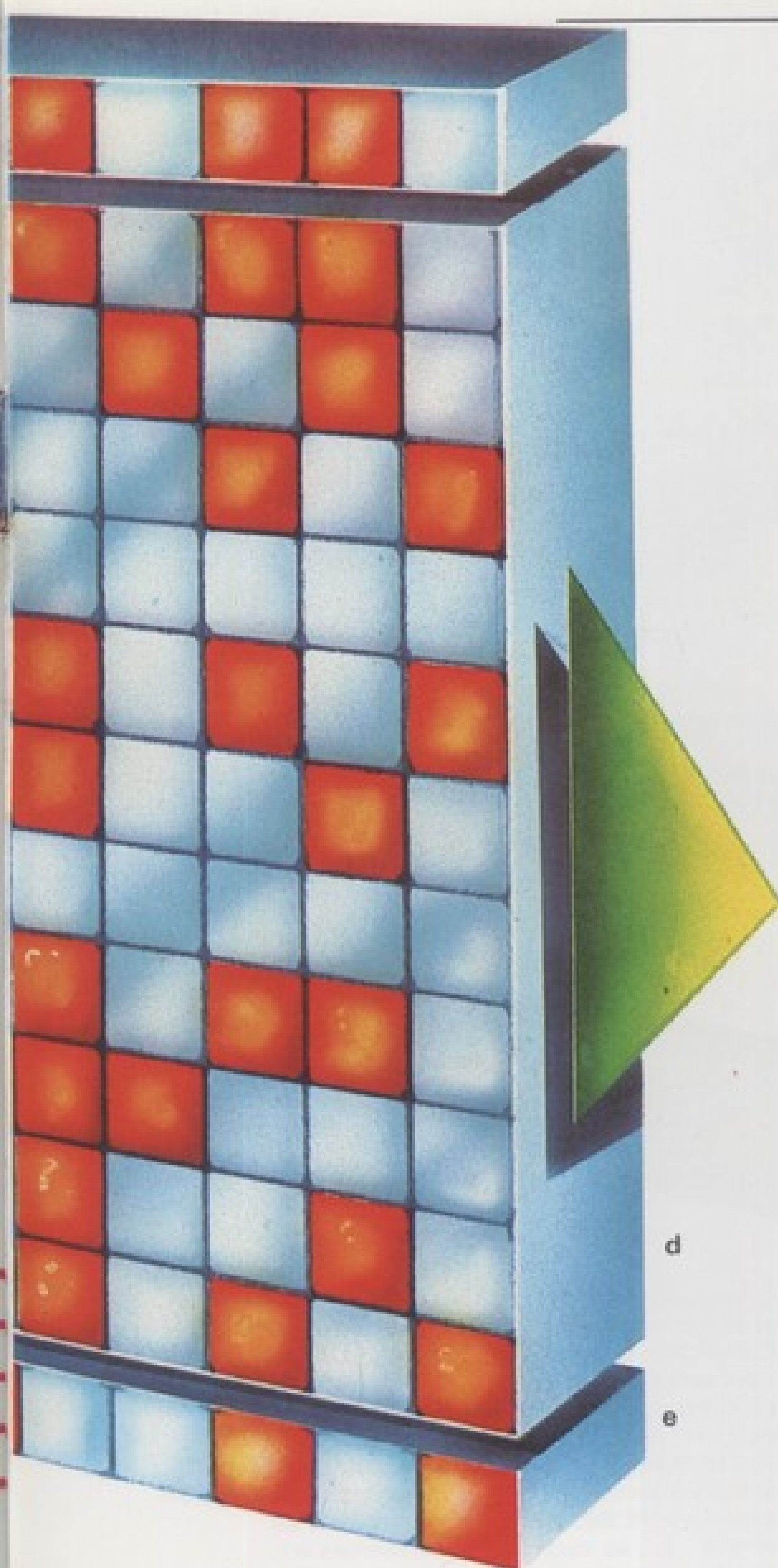
Estas desventajas condujeron a la aparición de los *lenguajes de programación de alto nivel medio*, por el cual nos comunicamos con un ordenador hipotético que se diseña sin tener en cuenta las limitaciones de la tecnología y sí los hábitos y capacidades del hombre para expresar sus pensamientos.

Hardware* y *software Un sistema de procesamiento de datos se puede dividir en dos partes: *hardware* y *software*. Toda la estructura física del ordenador y los materiales de los que está compuesto constituyen el *hardware*, palabra inglesa que significa "chatarra". En cambio, *software* es el término que indica todos los programas que tiene almacenados el ordenador, preparados por personas especializadas para conseguir el funcionamiento de éste. Haciendo una analogía con el ser humano, el *hardware* sería el cerebro, y el *software*, todo el conocimiento acumulado. El conocimiento del ordenador está formado por los programas que tiene almacenados en su memoria y que le indican la forma de actuar ante los problemas que se le presenten.

Programas y lenguajes Un programa es una secuencia de instrucciones que determina perfectamente lo que tiene que hacer el ordenador durante su ejecución. Un programa se puede comparar a una receta de cocina que especifique todos los pasos; con esta receta una persona que no supiera cocinar podría hacer el plato explicado. En este caso de receta ideal e impersonalizada, el cocinero juega el mismo papel que el ordenador en la resolución de un problema, ya que se limita a cumplir paso a paso las órdenes del programa, sin aportar nada por su cuenta.

Los programas se pueden escribir en distintos lenguajes, dependiendo del tipo de problema que se pretenda resolver. Existen dos grandes grupos: lenguajes de bajo nivel y lenguajes de alto nivel.

Los primeros están más cerca del lenguaje que utiliza el ordenador, lo que hace que los programas sean más difíciles de escribir; pero una vez hecho, se pueden ejecutar de forma mucho más rápida. Por este motivo se utilizan los lenguajes de bajo nivel en aplicaciones en las que un mismo programa se tenga que utilizar muchísimas veces. En este grupo están los



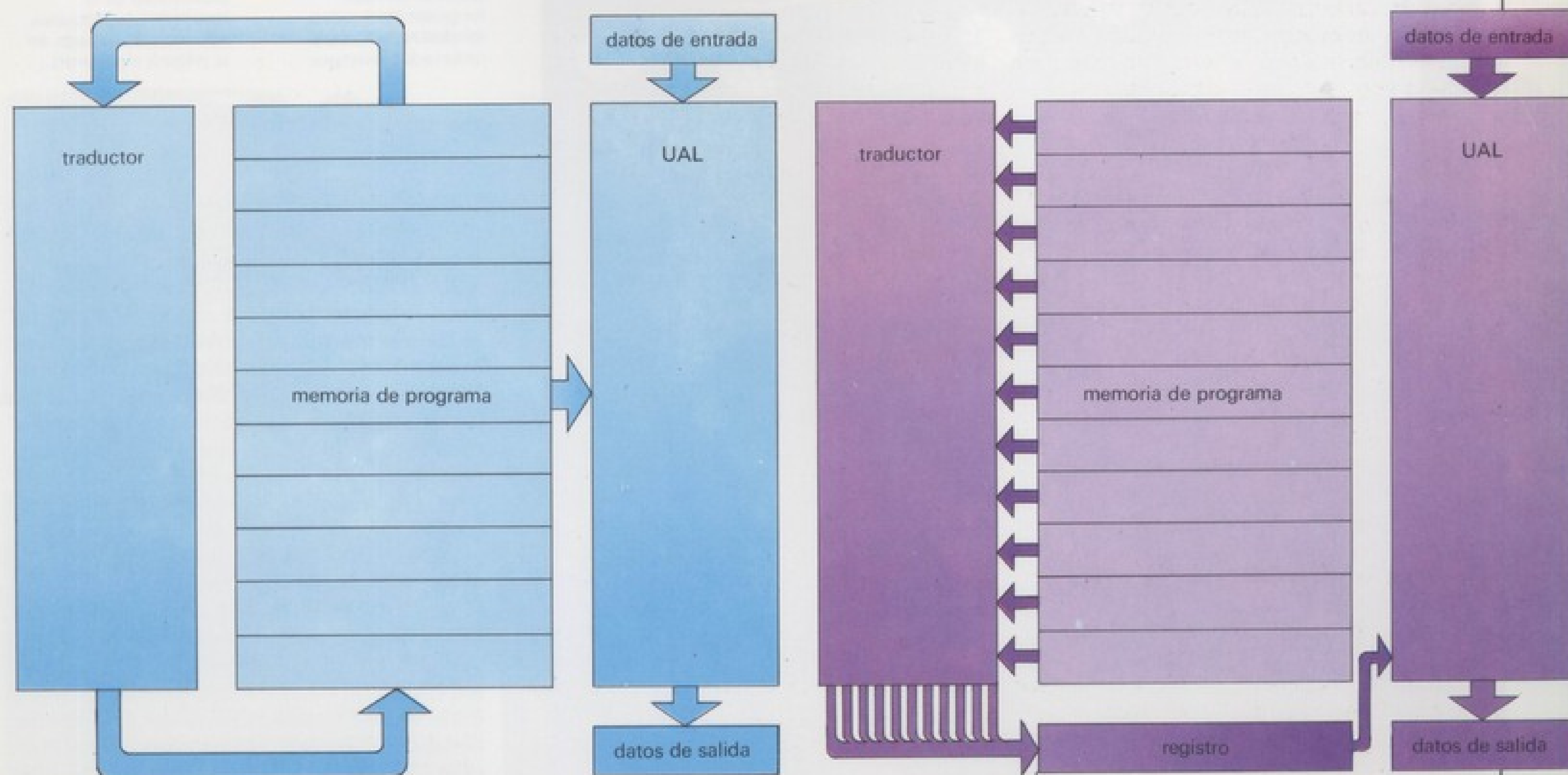
Tal como puede verse en las ilustraciones de la parte inferior, un programa es una secuencia de instrucciones que se dan a la máquina por medio de cifras y letras habituales en el lenguaje humano. Pero es necesario que se parezcan a la función que tienen que cumplir y que el ordenador las entienda. Para ello se traducen estas sentencias a unas ristras de ceros y unos que se introducen en la memoria de programa de la máquina. Esta función la realiza un programa llamado *compilador* o *intérprete*. A veces el programa escrito en términos "humanos" se traduce completamente por el compilador al lenguaje máquina, con lo que se tiene un lenguaje compilado como el FORTRAN (ejemplo A). Si en cambio se escribe el programa y el traductor lo pasa al lenguaje máquina a medida que se va ejecutando, se tiene un lenguaje interpretado, como el BASIC, del que se tiene un ejemplo en B.

A

```
WRITE (6, 10)
DO 100 I = 1,61
X = -3.0 + FLOAT(I-1)*0.1
Y=3.0*X*X-X-8.0
J=INT ((Y + 10.0)*(100.0/40.0) + 1.5)
IF(I.EQ.31) GO TO 50
LINE(26)=DOT
LINE(J)=CROSS
WRITE(6, 20) X, Y, LINE
LINE(J)=BLANK
GO TO 100
```

B

```
200 DEF FNN$(M$,N$)
210 LET L(0)=2
220 IF M$>N$ THEN 260
230 LET L(1)=ASC(M$)
240 LET L(2)=ASC(N$)
250 GO TO 280
260 LET L(1)=ASC(N$)
270 LET L(2)=ASC(M$)
280 CHANGE L TO L$
290 LET FNN$=L$
300 FNEND
```



lenguajes ensambladores, de los que hay distintos tipos, dependiendo del ordenador que se utilice, aunque todos ellos son similares en cuanto a su estructura.

Los lenguajes de alto nivel están más cerca del problema que se intenta resolver, por lo que son mucho más cómodos de utilizar. La mayoría de ellos utiliza palabras o abreviaturas inglesas debido a que se han desarrollado fundamentalmente en Estados Unidos. A este grupo pertenecen distintos lenguajes, que se utilizan en función del tipo de problema que se quiera tratar, como son el COBOL, el FORTRAN y el BASIC.

Cuando se ejecuta un programa, el primer paso que se realiza es su traducción del lenguaje utilizado al lenguaje máquina. Esta traducción se efectúa a partir de unos programas que tiene almacenados el ordenador y que reciben el nombre de *compiladores* —cuando traducen en primer lugar el programa antes de ejecutarlo— o *intérpretes* —cuando van traduciéndolo a medida que se va ejecutando—. En el proceso de traducción, el ordenador puede detectar los distintos errores de sintaxis que haya en el programa, lo que facilita la labor de corrección de éste.

Gracias a este proceso de traducción, ha sido posible la utilización de un grupo de lenguajes comunes para todo el mundo, a pesar de que los distintos ordenadores utilicen internamente lenguajes máquina diferentes.





El lenguaje COBOL es el más utilizado comercialmente. Las instrucciónes se escriben con palabras muy similares a las de uso común. El COBOL, como los demás lenguajes de alto nivel, es estándar, es decir, todos los programas escritos en este lenguaje se pueden ejecutar en cualquier ordenador, siempre que acepte el COBOL. Tiene otras ventajas, como la de gestionar y ordenar fácilmente largos listados (esquema de la derecha), por lo que se utiliza en la solución informática de problemas en almacenes (arriba), bibliotecas (a la izquierda) y gestiones comerciales (abajo, en la página siguiente).

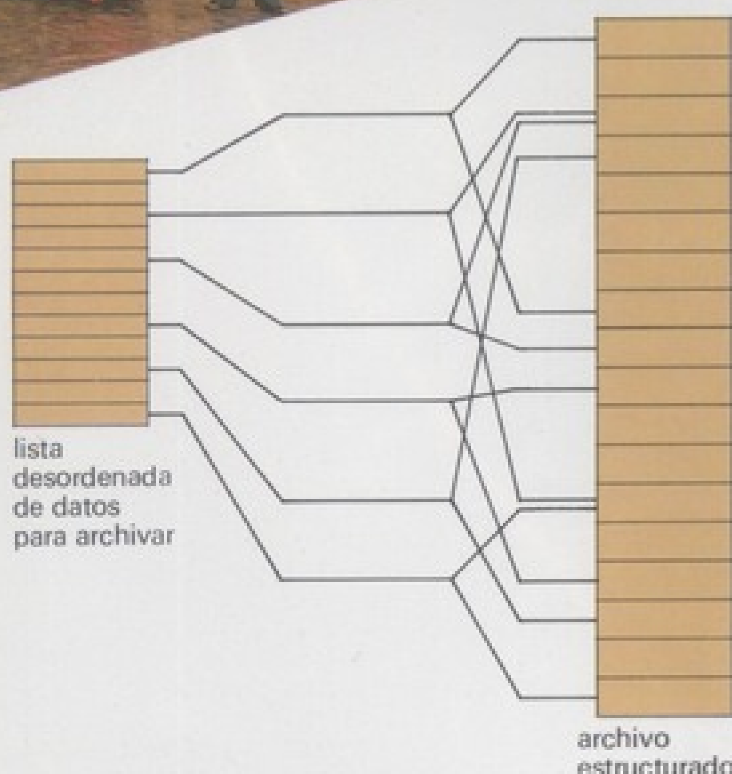
El conjunto de instrucciones Cada una de las líneas del programa se llama *sentencia* —en los lenguajes de alto nivel— o *instrucción* —en los lenguajes de bajo nivel— y corresponde a una orden que se le da a la máquina. Aunque las sentencias o instrucciones sean distintas para cada lenguaje, tienen en el fondo un significado parecido, ya que se tienen que poder realizar en todos los casos las mismas funciones. En general, las sentencias son más "potentes" que las instrucciones de lenguajes de bajo nivel, debido a que una sola sentencia es, en general, equivalente a varias instrucciones máquina.

Las instrucciones en lenguaje máquina están formadas por varias partes o campos. En la mayor parte de los casos existen dos campos, el *código de operaciones*, en el que se especifica la acción que se tiene que realizar, y el *campo de dirección*, donde se indica la posición de me-

moria en la que está el dato sobre el que se va a operar. En otros casos puede haber más campos de dirección, para indicar las direcciones de los dos operandos, o incluso la dirección donde se almacenará el resultado de la operación.

En todos los lenguajes existen distintos tipos de instrucciones para determinar el proceso que se realiza a lo largo del programa. Las instrucciones que realizan las funciones más importantes son las operaciones lógicas y aritméticas, entre las que están la suma, resta, multiplicación y división, que se encuentran en todos los lenguajes. Las operaciones lógicas son las que comparan un número con otro o un número con cero, lo que permite que se puedan tomar decisiones entre dos opciones posibles.

El grupo de instrucciones que tienen los lenguajes de alto nivel son las llamadas *funciones de biblioteca,* con las que se pueden calcular valores de raíces cuadradas, logaritmos, funciones trigonométricas u otras funciones matemáticas. En realidad, lo que se hace en estos casos es dar una orden para que se utilice un subprograma o subrutina que el ordenador tiene almacenado en su memoria.



Otras instrucciones permiten la entrada del programa y de los datos y la salida de resultados a través de los distintos terminales. En este tipo de órdenes se especifica el terminal que se quiere utilizar y el formato que van a tener los resultados. También se pueden incluir comentarios y observaciones, que aparecerán intercalados entre la solución para facilitar su comprensión.

Existen también instrucciones que permiten modificar la secuencia que sigue automáticamente el ordenador. Este va ejecutando las instrucciones por orden creciente de dirección de memoria (o de posición en el programa). Este grupo recibe el nombre de *instrucciones de transferencia de control,* y con ellas se pueden efectuar saltos hacia adelante o hacia atrás en la secuencia, lo que, unido a una instrucción condicional, permite que se pase un número determinado de veces por el mismo trozo de programa. Otra instrucción de este tipo permite pasar a un subprograma, que es una parte de programa que hay que utilizar varias veces dentro del programa principal. De esta forma se consigue escribir esta parte una sola vez y utilizarla todas las veces necesarias, simplemente "llamándola" desde cualquier punto del programa principal.

Registros de índice Los ordenadores tienen unas "casillas" especiales, llamadas *registros,* en las que se pueden almacenar algunas instrucciones de forma más rápida y cómoda que si se utilizara la memoria. Los registros tienen el cometido principal de funcionar como contadores, es decir, llevando la cuenta del número de veces que se repite una operación o parte de programa. La forma de indicarle al ordenador esta utilidad de un registro es a través de un tipo de instrucción de transferencia de control, en la que se especifican: el salto a la instrucción que se quiera, el número de veces que se va a repetir el proceso y de cuánto en cuánto se va a ir incrementando el registro del índice.

También se puede hacer otro uso de los registros índices, cuando se quiere utilizar una memoria más grande que lo que puede abarcar el campo de dirección; en estos casos la dirección está dividida en dos partes: las posiciones menos significativas están en el campo de dirección de la instrucción y el resto se almacena en el

registro índice. Así, en esta parte del programa se utiliza solamente una zona de la memoria, indicada por la "dirección base" almacenada en el registro. Cuando se quiera utilizar otra zona, habrá que cambiar simplemente la "dirección base".

Lenguajes de bajo nivel Las mejoras *hardware* del tipo de los registros índice aumentarían las dificultades de programación si no se hubieran inventado lenguajes artificiales cuyo único fin es facilitar las cosas. Si se tuviera que utilizar el lenguaje máquina, se programaría en forma numérica, ya que el ordenador únicamente trabaja con el código binario, es decir, con palabras formadas por combinaciones de ceros y unos. Con este sistema, que se utilizó en los primeros ordenadores, el programador tenía que conocer los códigos de operación de cada instrucción y la dirección numérica que éstas ocupaban en la memoria. A medida que los programas iban aumentando de tamaño, el trabajo del programador se fue complicando, hasta que llegó a ser prácticamente imposible.

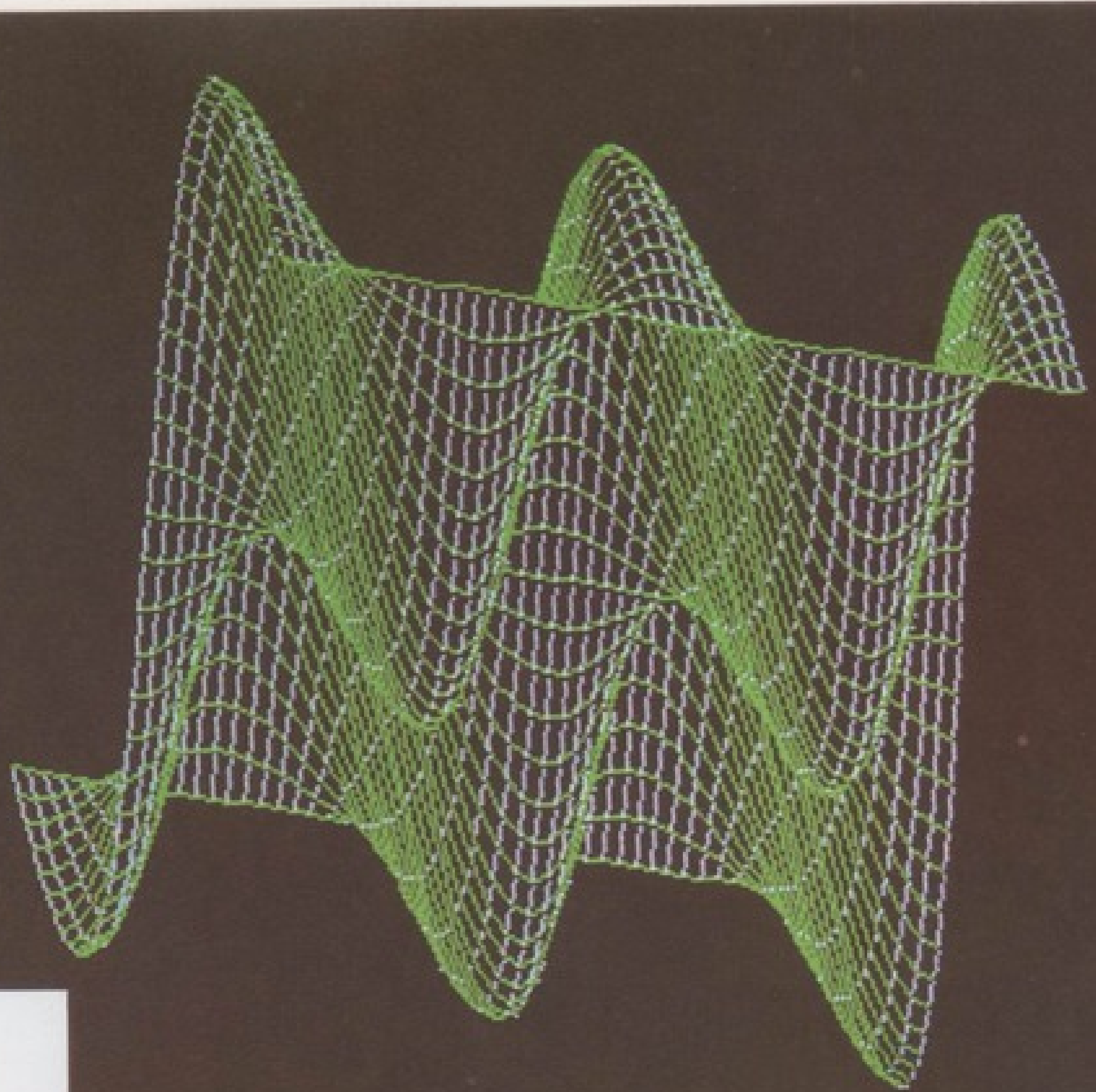


El FORTRAN nació en 1957 para resolver problemas matemáticos. Era necesario un lenguaje orientado a la solución de problemas científicos y que permitiera una traducción fácil de los procedimientos de cálculo numérico a los programas. Pero, no obstante ser uno de los más antiguos, sigue utilizándose de forma generalizada, siendo uno de los principales lenguajes de alto nivel, llamados así por ser más parecidos al lenguaje usual. Uno de los problemas típicos en el que se utiliza el FORTRAN es en los cálculos de las órbitas planetarias.

Era inevitable encontrar una solución al problema. Se desarrolló el *lenguaje ensamblador*, que ofrece al programador un conjunto de símbolos más fáciles de recordar y que puede utilizar en lugar de los números del código binario. El *programa ensamblador* se encarga de que los símbolos que forman cada una de las instrucciones se traduzcan a otra instrucción con los números correspondientes del lenguaje máquina. Los símbolos se han establecido de forma que se puedan recordar bien, siendo la mayor parte de ellos abreviaturas de la función que representan. Así, por ejemplo, las operaciones aritméticas podrían indicarse por AD (*add decimal*, "suma en decimal"), SD (*subtract decimal*, "resta en decimal"), AB (*add binary*, "suma en binario"), etc. El código simbólico para otras operaciones puede resultar menos obvio, como en el caso de CVD (*convert to decimal format*, "pasar a formato decimal"). Otros códigos permiten

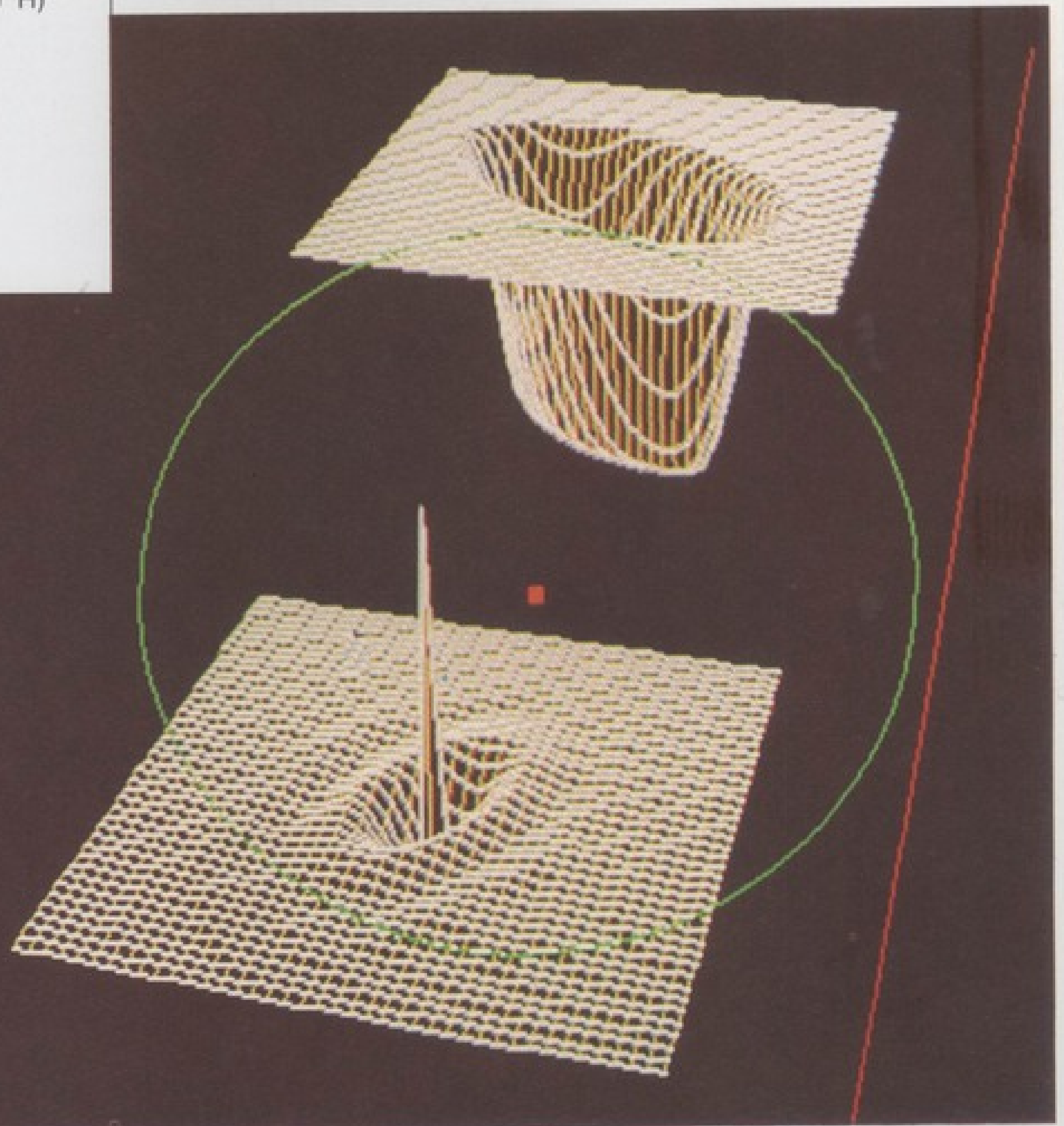
al programador la posibilidad de reservar zonas de memoria para datos que se reproducirán a medida que avance el programa. Las letras DS (*define storage*, "definir memoria"), seguidas por un grupo de letras y números con significado establecido, dan la orden a la máquina, a través del ensamblador, de reservar un cierto espacio para datos.

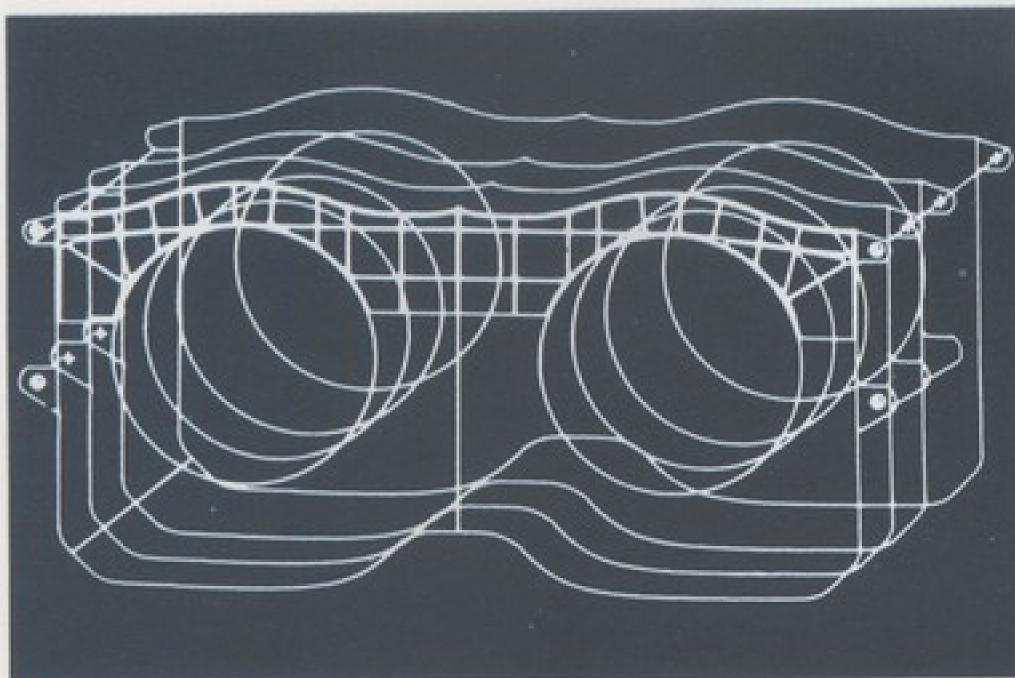
Normalmente, el programador puede asignar un nombre o etiqueta a la instrucción y referirse a la posición de memoria que ocupa dicha instrucción desde otro punto del programa utilizando el nombre que le ha dado. Las etiquetas se pueden emplear para determinar la instrucción en la que se quiere que siga el programa cuando se produce un salto que altera la secuencia normal. Habitualmente, lo más fácil al escribir una instrucción en lenguaje ensamblador es asignar el código de

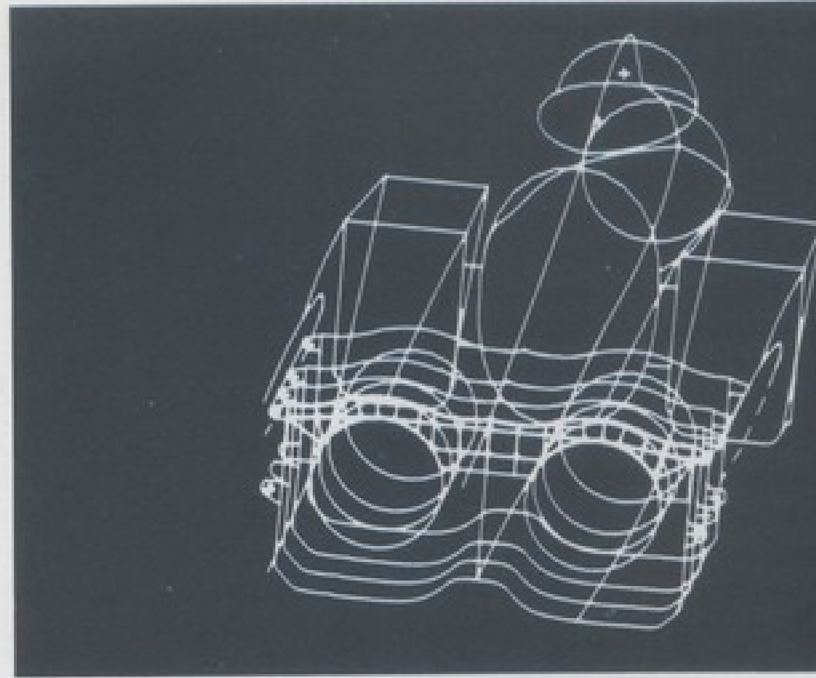


En la página anterior, un problema típico en el que conviene utilizar el lenguaje FORTRAN: el cálculo del movimiento de satélites o misiles en el espacio o en la alta atmósfera. En la actualidad, algunos de los lenguajes proyectados recientemente son sin duda mejores que el FORTRAN, incluso en los problemas científicos para los que nació éste. Sin embargo, su utilización en muchas aplicaciones y durante decenios ha hecho que existan grandes bibliotecas de programas en este lenguaje, de forma que cualquier persona que intente resolver ahora un problema científico complejo, es fácil que encuentre ya hecha una forma de resolverlo. Es esta la razón principal de que el FORTRAN haya resistido al paso del tiempo y de que lenguajes más modernos, como el PASCAL, no se hayan impuesto totalmente. Aquí debajo, parte de un programa escrito en FORTRAN que se utiliza para calcular el área de una superficie encerrada por un contorno mixtilíneo en el caso de que la parte curva responda a funciones complicadas. Puesto que el FORTRAN es un lenguaje compilado, es decir, se traduce al lenguaje máquina antes de ejecutarse, es muy veloz. En consecuencia, se puede utilizar también para generar dibujos complejos en tiempos cortos, como las formas que vemos aquí al lado. Estas superficies son juegos gráficos, representación de soluciones de problemas de matemáticas o física. Puesto que se trata de un lenguaje veloz, estas superficies se pueden dibujar rápidamente, de forma que vayan variando y compongan una escena en movimiento.

```
      AREA BY TRAPEZOID RULE
      F(X) = ((3.0*X - 4.0)*X + 6.0)*X + 5.0
      READ (5,10) A, B, N
 10   FORMAT (2F8.2,I5)
      H = (B - A)/FLOAT (N)
      SUM = F(A) + F(B)
      NN = N - 1
      DO 200 K = 1, NN
              SUM = SUM + 2*F (A + FLOAT(K)*H)
200   CONTINUE
      AREA = H*SUM/2.0
      WRITE (6,20) A, B, AREA
 20   FORMAT (1X, 2F10.2, F15.3)
      STOP
      END
```



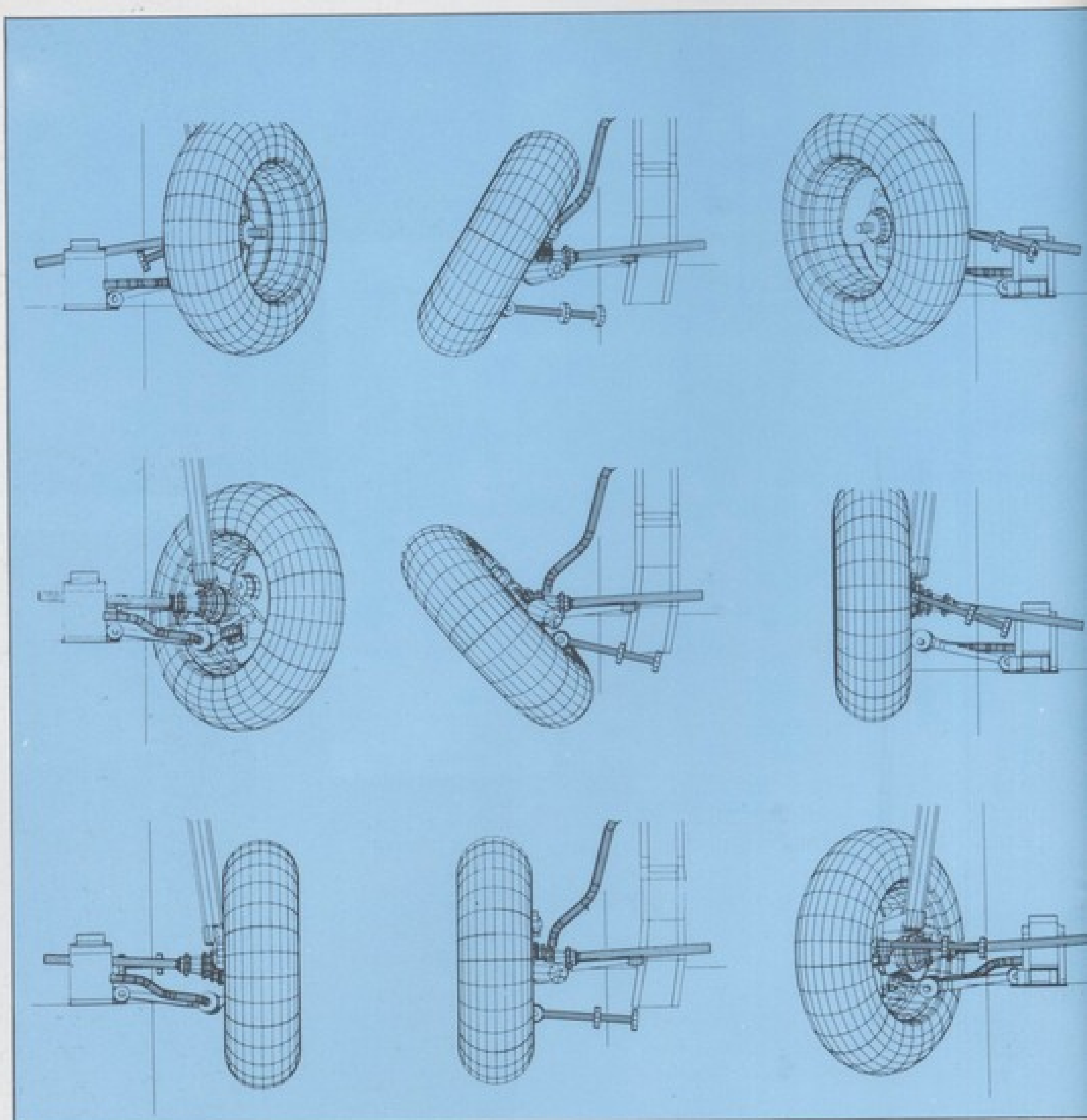




operación simbólico y la etiqueta. La parte más difícil es escribir el campo de dirección de la instrucción, debido a que todos los ordenadores tienen varias posibilidades para "direccionar" una palabra, utilizando los registros índices. Aunque a veces el uso de estos registros representa una complicación para el programador, su utilización permite el máximo aprovechamiento de la máquina.

Cada ordenador tiene su lenguaje ensamblador particular, ya que éste está muy relacionado con el *hardware* de la máquina, que cambia ligeramente de un modelo a otro y bastante de una marca a otra.

Todas estas dificultades hacen que programar en lenguaje ensamblador, a pesar de ser muchísimo más fácil que el hacerlo en lenguaje máquina, sea una tarea delicada que requiere una gran atención y experiencia.



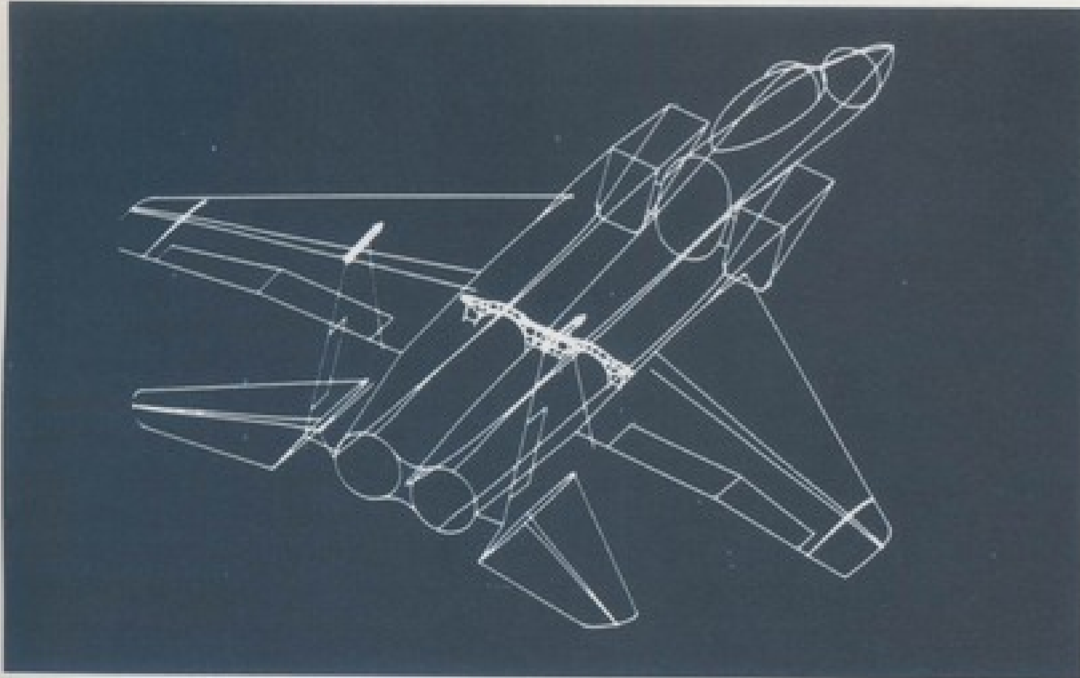
Lenguajes de alto nivel Los problemas que ocasionaba la utilización del lenguaje ensamblador, entre otras cosas, limitaban prácticamente el uso de los ordenadores a especialistas que dominaban el lenguaje. Para superar estas dificultades, se crearon lenguajes que recibieron el nombre de *lenguajes de alto nivel* por estar más próximos al que se utilizaba habitualmente en el tratamiento de los problemas y en los procedimientos de solución de los mismos. Atendiendo al tipo de trabajo al que están destinados, existen dos categorías de lenguaje: los orientados a problemas comerciales y los orientados a problemas científicos.

El primer lenguaje de alto nivel que se puso a punto fue el FORTRAN, cuyo nombre deriva de la contracción de *for*mula *tran*slation ("traducción de la fórmula") y se debe a que las fórmulas matemáticas se programan de forma parecida a como se escriben en el papel. La persona que utiliza el FORTRAN no tiene por qué conocer los detalles internos del ordenador en el que va a introducir el programa, y de hecho puede programar con un conocimiento muy somero de cómo funcionan los ordenadores. Todo lo que se tiene que saber es cómo expresar la forma de resolver el problema en términos de FORTRAN, que es un lenguaje simple porque utiliza prácticamente las expresiones matemáticas habituales y palabras inglesas como *do, go, to, continue* o *if.*

El FORTRAN está considerado como lenguaje orientado a problemas científicos porque resulta cómodo en la resolución de este tipo de problemas. Un ejemplo sencillo será suficiente para ilustrar cómo se ejecuta una larga secuencia con un pequeño número de sentencias. Supongamos que se quiere obtener la suma de cien números que se encuentran en la memoria con el nombre $X_1, X_2, X_3 ... X_{100}$. El programa sería:

```
Y=0
DO 5 I=1,100
5 Y=Y+X(I)
```

A partir de aquí el compilador FORTRAN traduce estas instrucciones a lenguaje máquina. Los compiladores FORTRAN son bastante más complejos que los programas ensambladores, pudiendo generar un gran número de instrucciones a partir de una sentencia FORTRAN.





Estas tres sentencias tienen el siguiente significado: "Y=0" asigna el valor cero a la variable *Y* antes de empezar la serie de sumas. Este paso se llama *inicialización* y es equivalente al borrado de una pizarra antes de escribir en ella.

"DO 5 I=1,100" se puede traducir como: ejecuta las operaciones comprendidas entre esta instrucción y la número 5 haciendo que *I* valga 1 la primera vez, repite la secuencia entre las dos instrucciones con I=2, después con I=3 y así sucesivamente hasta llegar a I=100. Una vez realizado este ciclo, se ejecutará la instrucción siguiente a la número 5.

La instrucción 5 especifica que se sume el valor de *X* al valor que tiene *Y*, con lo que al ir variando I desde 1 hasta 100 se obtiene la suma de X_1, X_2, X_3...X_{100}.

Teniendo en cuenta que cada ordenador es distinto, cada compilador correspondiente a un lenguaje de alto nivel produce un código distinto, pensado para la máquina en la que va a funcionar, aunque los efectos respecto a lo que realiza el programa son los mismos. De esta forma, el programador puede pensar un programa, habitualmente mucho más largo y complejo que el pequeño ejemplo anterior, y pasarlo en cualquier ordenador que tenga compilador de lenguaje correspondiente. Este hecho es bastante importante teniendo en cuenta que un programa tiene una elaboración compleja y larga, por lo que ha de poderse procesar en cualquier ordenador, a pesar de que en esta materia la tecnología esté evolucionando rápida y continuamente.

Véase **Datos, procesamiento de; Ordenador; Ordenador, programas**



Los ordenadores, que en un principio fueron concebidos con el propósito de simplificar la elaboración de complejos cálculos matemáticos, encontraron rápidamente un sinfín de aplicaciones en el campo de la informática de empresa e industrial. Su aplicación en el campo del diseño y de la fabricación en serie ha dado lugar a una auténtica revolución social y tecnológica. Los lenguajes disponibles siguen aún siendo aquellos que se utilizaron durante las primeras experiencias y, por lo general, se han quedado anticuados o son insuficientes para expresar las complejas transcripciones de cálculo que los ordenadores de hoy en día requieren para el desarrollo de sus funciones. Sólo uno de los nuevos campos de aplicación de los ordenadores parece haber encontrado su lenguaje idóneo: nos referimos al BASIC, que se ha incorporado con gran eficacia en el campo de los ordenadores micro y personales. En el campo del diseño, sin embargo, no existe todavía nada similar, aunque algunos nuevos lenguajes, como el PASCAL, presentan perspectivas de lograrlo. Los procesos de diseño automático ya se han incorporado con éxito en numerosas industrias. Las tres imágenes en la parte superior de la página pertenecen al proceso de diseño automático de un avión caza moderno: las dos primeras muestran un detalle de la fabricación, mientras que la tercera proporciona una perspectiva de conjunto. Las imágenes obtenidas por el ordenador permiten observar, desde la perspectiva deseada, las posiciones y las interacciones entre las diferentes partes y piezas del modelo. En la secuencia de la izquierda, el ordenador proporciona, con más detalle, las diferentes posiciones de interacciones que presenta una rueda sometida a la acción de giro de un volante. A nuestra derecha, en cambio, la pantalla del ordenador muestra el desarrollo reticular y en tres dimensiones de una determinada estructura.

Ordenador, memoria de

Muchos de los términos que se utilizan para describir los ordenadores derivan directamente de las actividades humanas. Se habla de la lógica y lenguaje de la máquina y de su capacidad para leer datos, ordenar archivos y calcular resultados. En los ordenadores, igual que en el hombre, no se puede realizar ningún proceso "inteligente" sin la memoria.

La memoria principal y las memorias auxiliares Aunque la memoria principal y las memorias auxiliares tengan principios comunes, no son iguales. La memoria principal es una parte que depende directamente de la unidad central de proceso, o CPU, centro del ordenador. En los pequeños ordenadores personales, en los miniordenadores o en los grandes ordenadores, la memoria principal está formada por circuitos integrados de semiconductores, también llamados *chips*. Estos "milagros" microelectrónicos pueden tener cerca de 64.000 circuitos, formados por conmutadores abierto/cerrado (*on/off*) integrados en un trozo de silicio más pequeño que una uña. Cada circuito en un determinado estado corresponde a un 0 o un 1 del lenguaje interno del ordenador, llamado *código de máquina*; este lenguaje está escrito completamente en términos de ceros y unos. Si el circuito está abierto, representa un uno en la memoria y si está cerrado, un cero.

Las memorias auxiliares de un ordenador pueden ser cintas magnéticas, discos magnéticos u otro tipo de soporte. La mayor parte de las grandes bases de datos utiliza cintas magnéticas porque se manejan mejor. Para poder procesar la información guardada en una memoria auxiliar se tiene que transferir y almacenar temporalmente en la memoria principal del ordenador.

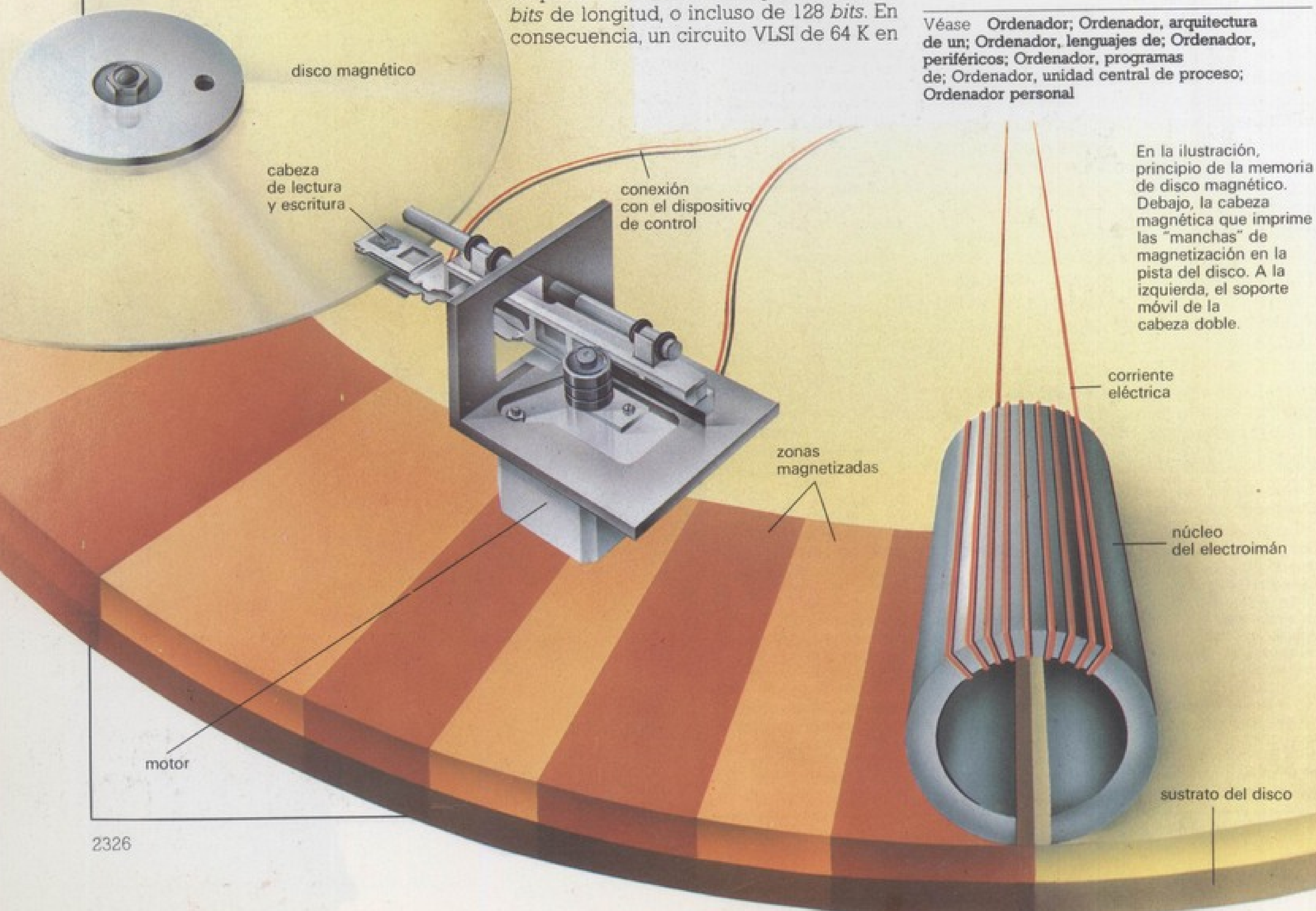
Código binario y memoria Los modernos ordenadores manejan y memorizan los datos en *código binario*, que reduce todas las cifras y letras a combinaciones de ceros y unos. Esto quiere decir que los elementos tienen que funcionar en forma binaria, o sea, abierto o cerrado. Otro requisito es que cada circuito tiene que funcionar individualmente, como sucede en la memoria de acceso aleatorio o RAM (*Random Access Memory*), haciendo que la lectura o escritura de datos en la memoria sea relativamente sencilla.

Un circuito VLSI (*Very Large Scale Integrated*, o circuito integrado a muy gran escala) de los que se utilizan en las memorias de los ordenadores actuales tiene por lo menos 64.000 circuitos, de forma que puede almacenar 64 *Kbits*, ya que un *Kbit* corresponde a 1.024 *bits*. Los ordenadores memorizan los datos en grupos de *bits* llamados *palabras*. Una longitud de palabra muy utilizada es la de 8 *bits*, llamada *byte*. Los ordenadores personales utilizan una memoria con palabras de 8 o 16 *bits*, mientras que las máquinas más grandes, con capacidad para 64 millones de palabras o más, utilizan palabras de 64 *bits* de longitud, o incluso de 128 *bits*. En consecuencia, un circuito VLSI de 64 K en un ordenador de 8 *bits* puede almacenar 8.000 palabras, mientras que si se usa el mismo circuito VLSI para la memoria de un ordenador con palabras de 64 *bits*, sólo se podrán almacenar 1.000 palabras, aunque en ambos casos la cantidad total de información almacenada será similar.

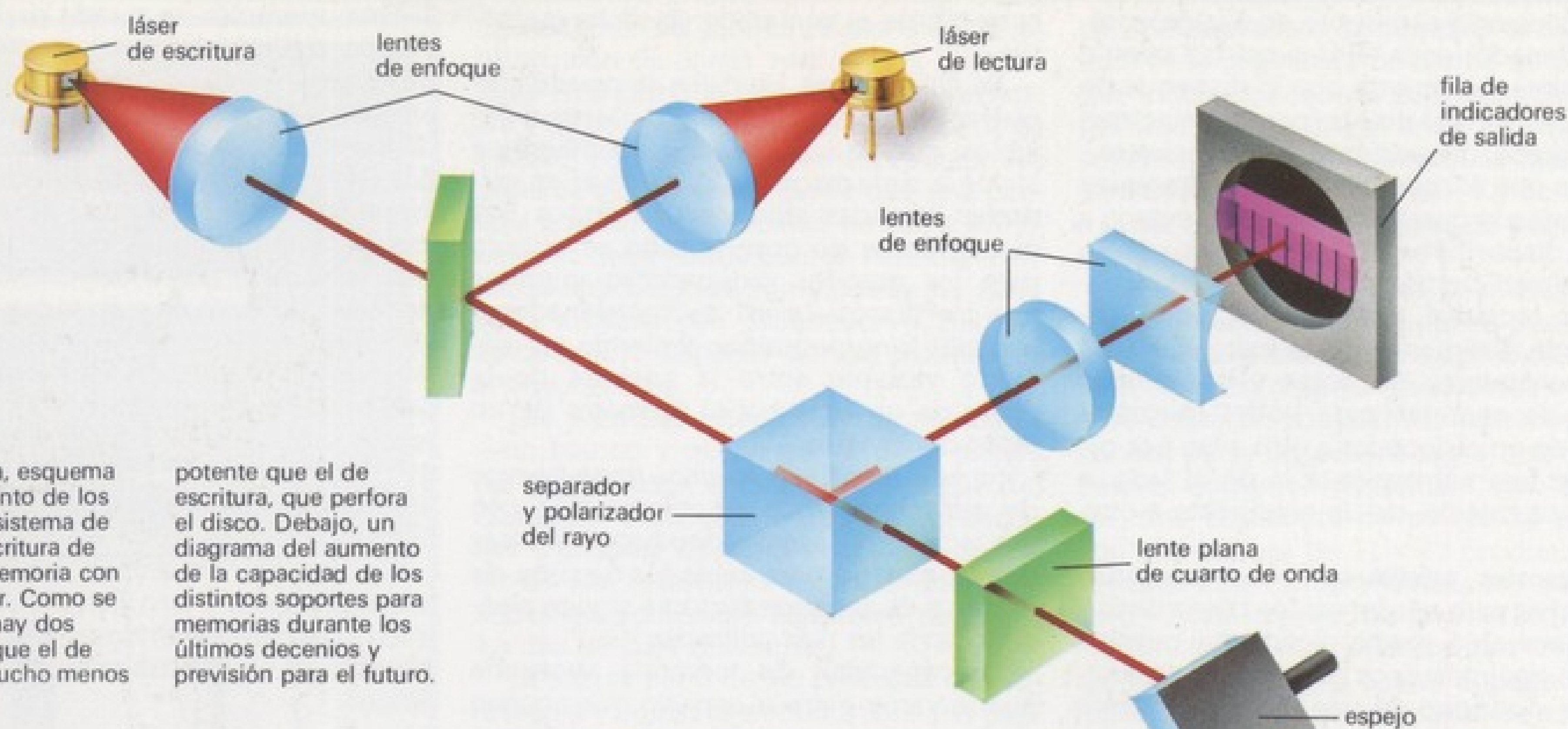
Las funciones y dimensión de la memoria La memoria de un ordenador tiene que tener siempre almacenado el sistema operativo, que es el conjunto de programas necesarios para las funciones básicas del ordenador. Tiene que tener además capacidad suficiente para el programa que se quiera ejecutar cada vez en el ordenador y, también, espacio para los datos que vaya manejando a lo largo de la ejecución del programa. Una calculadora programable tiene una memoria de 1 K a 32 K, y la mayoría de ellas de 4 K a 8 K. La memoria de los ordenadores personales varía entre 8 K y 48 K, y los profesionales entre 64 K y 256 K. A un ordenador con una memoria de 48 K se le puede conectar una unidad de discos con una capacidad de, por ejemplo, 500 K; los datos tienen que transferirse desde el disco a la memoria en cantidades inferiores a 48 K, debido a que la memoria tiene que utilizarse también para el programa que elaborará los datos.

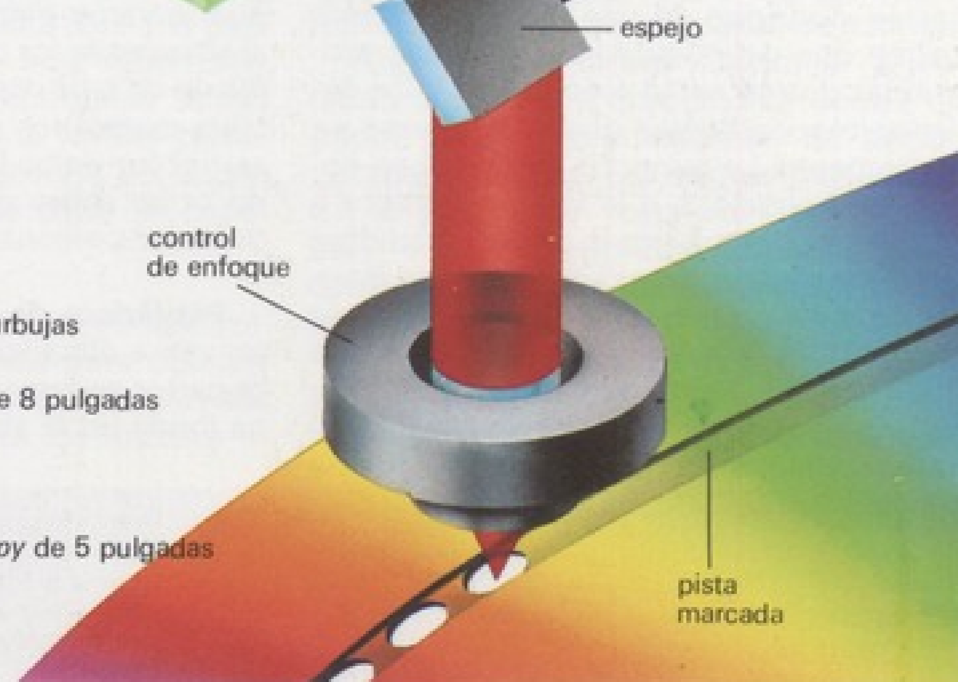
Todos los datos almacenados en el disco, que tiene mucha más capacidad que la memoria principal, se pueden ir utilizando poco a poco.

Véase **Ordenador; Ordenador, arquitectura de un; Ordenador, lenguajes de; Ordenador, periféricos; Ordenador, programas de; Ordenador, unidad central de proceso; Ordenador personal**

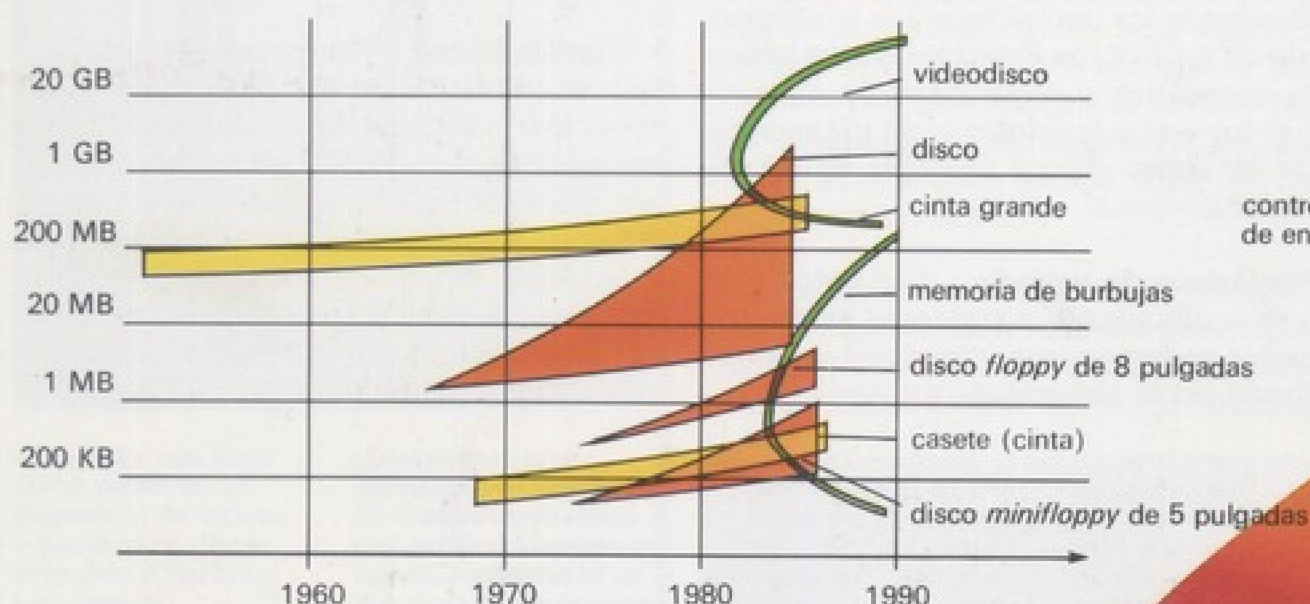


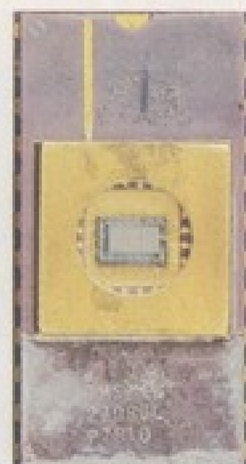
En la ilustración, principio de la memoria de disco magnético. Debajo, la cabeza magnética que imprime las "manchas" de magnetización en la pista del disco. A la izquierda, el soporte móvil de la cabeza doble.

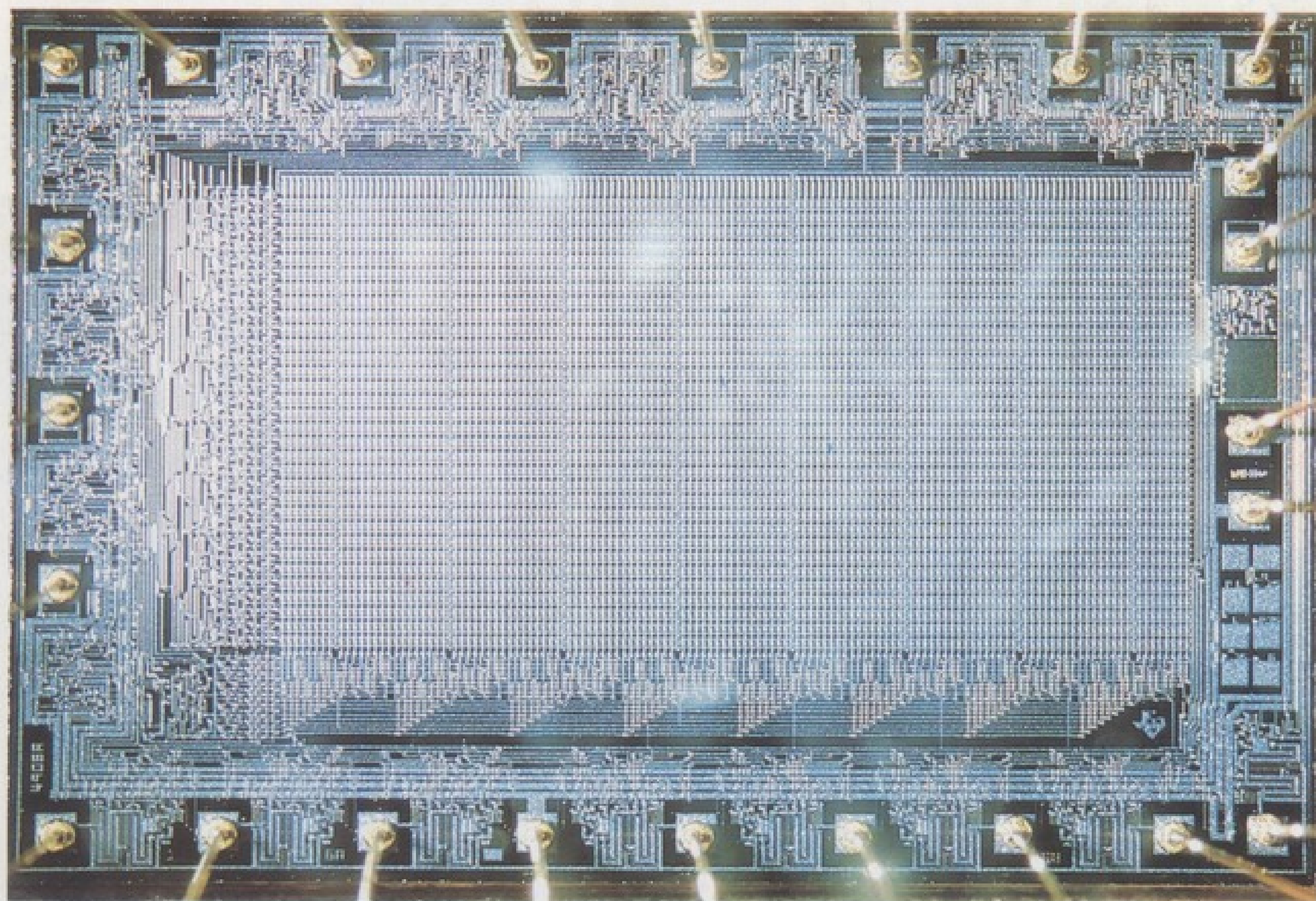




A la derecha, esquema del movimiento de los rayos en el sistema de lectura y escritura de discos de memoria con sistema láser. Como se puede ver, hay dos láseres, porque el de lectura es mucho menos potente que el de escritura, que perfora el disco. Debajo, un diagrama del aumento de la capacidad de los distintos soportes para memorias durante los últimos decenios y previsión para el futuro.







Arriba, memoria de sólo lectura que se puede borrar y reprogramar (EPROM). En este dispositivo se introducen los datos a través de impulsos eléctricos; una vez escrita, sólo se borra con rayos ultravioleta. Esta memoria conserva los datos grabados aunque no esté alimentada, y se utiliza mucho en los microprocesadores. A la derecha, aspecto al microscopio de una memoria de acceso aleatorio (RAM), que para mantener los datos almacenados tiene que estar conectada a la alimentación eléctrica.

Ordenador, periféricos

El corazón y el cerebro de cualquier ordenador es la CPU, o unidad central de proceso, elemento que lo distingue de cualquier otro al determinar su velocidad de proceso, dimensiones y prestaciones.

Para que el ordenador pueda funcionar es necesario que la CPU esté conectada a otros dispositivos. Estos dispositivos se denominan *periféricos*, y, entre otros, incluyen teclados, pantallas de vídeo, impresoras, distintos tipos de memorias para almacenamiento de datos y una amplia gama de aparatos para poder transmitir datos de un ordenador a otro, bien por cable, de una habitación a la de al lado, o bien por satélite, de un continente a otro.

Memorias auxiliares Las memorias auxiliares para conservar los datos de forma manejable electrónicamente pueden ser de distintos tipos. Una memoria auxiliar se distingue de una memoria principal en que esta última almacena los programas que se están ejecutando y los datos correspondientes que se procesan en el momento. La memoria principal se encuentra conectada a la CPU y siempre a su lado. Por otra parte la memoria auxiliar contiene datos y programas en cinta magnética, o discos magnéticos. Para procesar los datos de la memoria auxiliar se tienen que transferir temporalmente a la memoria principal o, más exactamente, se transmite a la memoria principal una copia de los datos archivados.

Quizá la forma más clásica de memoria auxiliar es la cinta magnética, similar a las cintas de casete de audio o vídeo. Los impulsos electromagnéticos, que representan las informaciones, se registran secuencialmente y se pueden recuperar otra vez cuando sea necesario. La mayor parte de los grandes sistemas de ordenadores, como los utilizados en instituciones oficiales, industrias, bancos y universidades, tienen memorias auxiliares de cinta magnética. La desventaja de la cinta es que los datos se memorizan en largos rollos y a la hora de leerlos, por ejemplo para obtener los datos sobre un determinado contribuyente, se tiene que consultar el índice para saber en qué rollo de cinta y a qué altura de la misma se encuentra la información deseada. De esta forma la cinta se tiene que transportar físicamente, y a menudo el operador tiene que desplazarse a un sitio lejano, ponerla en la unidad de cinta y dejar que el ordenador la explore. Aunque es un procedimiento pesado, el archivo de datos en cinta magnética tiene un coste menor que otros sistemas.

El soporte de información disponible más eficaz es la unidad de memoria de semiconductor. Es el tipo de memoria más rápido, porque cualquier dato almacenado se puede recuperar en un tiempo muy corto. De todas formas la memoria de semiconductor es en este momento mucho más cara que la cinta magnética y por tanto no se utiliza para grandes archivos. Además, tienen el inconveniente de su "volatilidad", es decir, cuando se desconecta la fuente de potencia que la alimenta se pierde el contenido de dicha memoria.

En último lugar, los datos se pueden registrar en discos magnéticos, duros o flexibles, que utilizan principios similares a los de la cinta magnética y trabajan en unidades llamadas unidades de discos. Los discos duros de gran tamaño se utilizan para los grandes ordenadores mientras que los discos de los microordenadores son más bien pequeños, teniendo un diámetro variable entre la anchura de la mano de un adulto y el diámetro de un disco de 33 r.p.m.

Se han estudiado muchos tipos nuevos de almacenamiento de información con utilización de láser, videodiscos y otras tecnologías, pero las unidades de cinta, de discos y de semiconductores siguen siendo todavía las más utilizadas.

La capacidad de memoria necesaria puede variar entre el espacio que ocupen al almacenar los contribuyentes e impuestos de un país como Estados Unidos sobre cinta magnética y el necesario para conservar los datos financieros de un analista de bolsa sobre discos flexibles en un ordenador personal.

Periféricos de entrada Los datos que se van a almacenar y procesar en un ordenador se tienen que introducir de alguna forma en el sistema de proceso.

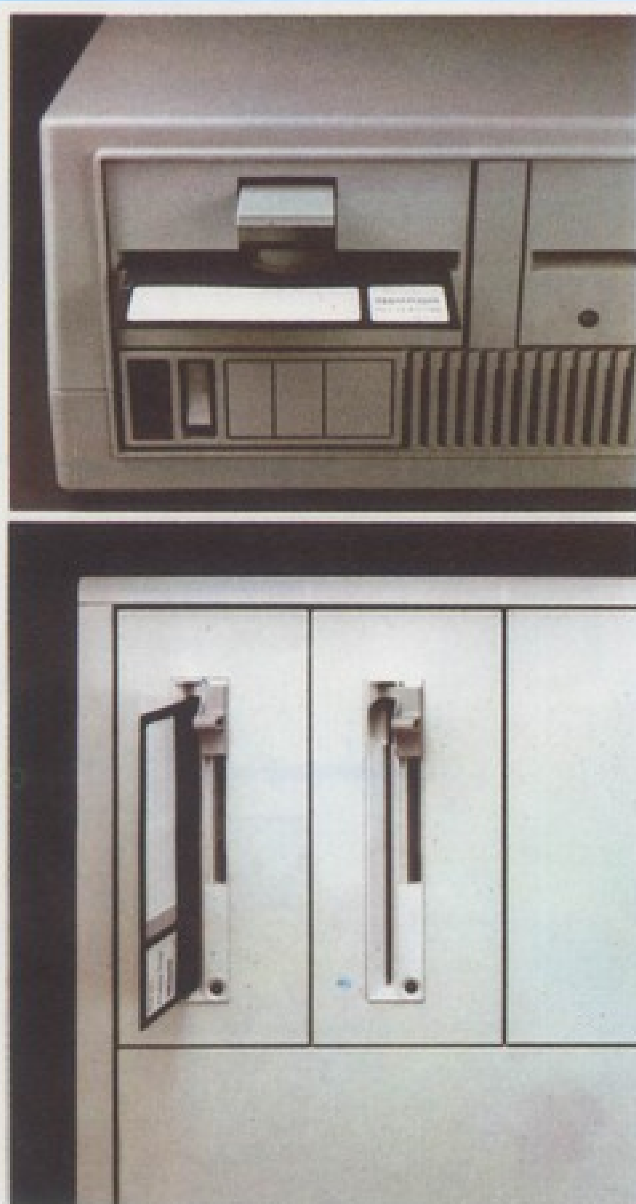
Esta operación se puede realizar a través de distintas unidades periféricas, entre las que están los teclados, para datos en caracteres alfabéticos y numéricos; las unidades de tarjetas perforadas, que codifican e introducen en el ordenador la información contenida en las perforaciones; los instrumentos científicos, pensados para introducir datos directamente al ordenador; las pantallas de vídeo sensibles al tacto, que detectan la presencia de un dedo humano o de un lápiz electrónico y reaccionan en consecuencia; los simples teclados con teclas del 0 al 9; los dispositivos sensibles a la voz, que pueden distinguir un número limitado de sonidos e introducir así los datos electrónicamente.

En algunas ocasiones, un ordenador transmite datos a otro. Este sistema de entrada no es un periférico en sí mismo, pero necesita el funcionamiento de otros periféricos.

Visualización Normalmente es muy útil ver los datos introducidos y para ello se utilizan distintos tipos de visualizadores, pero casi todos ellos se basan en tubos de rayos catódicos similares a los aparatos de televisión. La característica más importante de un terminal de visualización de vídeo (VDT) es su resolución o capacidad de reproducir detalles. Cada imagen sobre una pantalla está formada por

Aunque por ordenador se entiende normalmente la unidad central de proceso, que realiza materialmente las operaciones aritméticas y lógicas, existen muchos otros instrumentos para acceder a estos servicios del ordenador. Aquí a la derecha y abajo se ve un centro de cálculo de tamaño medio donde el ordenador (parte central) es el que se encuentra en el armario cerrado del centro. A su alrededor están los dispositivos que lo acompañan normalmente para aprovechar sus servicios: a la derecha, terminales de vídeo con teclado, que son los terminales más importantes para la comunicación entre el operador y la máquina. A través de ellos se introducen los datos, y en la pantalla aparecen los resultados. En segunda línea, en el centro y a la derecha, unidades de memoria auxiliar que almacenan una gran cantidad de datos. A la izquierda, impresoras rápidas para grandes cantidades de datos.





Ordenador que tiene como periférico un dispositivo de lectura y escritura en discos magnéticos flexibles. Los grandes ordenadores también utilizan a menudo este sistema, de uso universal en pequeños ordenadores, para poder aceptar archivos de datos de clientes y proveedores y poder leerlos rápidamente: por ejemplo, un listín de precios de varios miles de productos se puede leer en pocos minutos.

un conjunto de puntos situados en la intersección de líneas verticales y horizontales. Una pantalla con 400 líneas verticales y 600 horizontales tendrá una matriz de 240.000 puntos, pudiendo reproducir los detalles cuatro veces mejor que una pantalla que tenga una matriz de 200 x 300 líneas, es decir 60.000 puntos. Para determinadas aplicaciones, como puede ser el diseño asistido con ordenador (CAD), es fundamental disponer de una pantalla de alta resolución.

Las pantallas pueden ser monocromas —en blanco y negro, en verde y blanco (se puede usar amarillo en el lugar del blanco)— o en color. Algunas aplicaciones concretas necesitan pantallas de color de alta resolución, mientras que otras necesitan solamente monitores negros o verdes de baja resolución.

La mayor parte de los procesos con caracteres y números necesita sólo una pantalla monocromática de baja resolución, aunque muchos países europeos tienen ahora leyes que obligan a utilizar pantallas amarillas y negras porque producen en los operadores menos dolor de cabeza y fatiga en la vista.

Impresoras La impresora es una unidad periférica muy común para obtener datos de la CPU de forma que se puedan leer posteriormente. Entre los muchos tipos de impresora disponibles el más común es la impresora de matriz de puntos, que utiliza una cabeza impresora formada por una red de líneas finas. Este tipo de impresora tiene un número de líneas de caracteres entre 5×7 y 13×7 y no llegan a tener las 200×300 líneas de puntos de una pantalla.

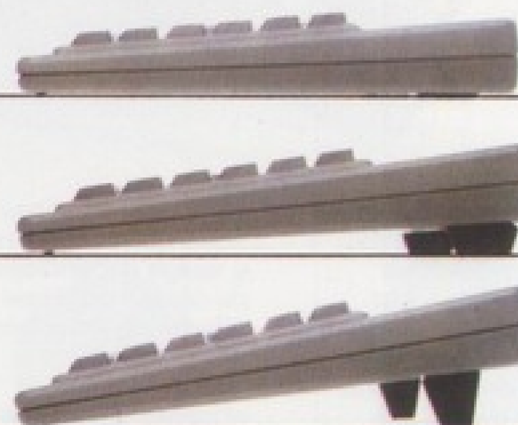
La matriz de las líneas es intersecante y cada intersección, o punto, se puede utilizar como elemento de impresión. Cada letra, número o forma geométrica se procesa como un conjunto de puntos que la cabeza de la impresora sabrá reproducir cuando llegue el momento. Como es obvio, una impresora de matriz de puntos con una cabeza de 11×17 producirá caracteres más claros y detallados que una de 5×7. Las impresoras de matriz de puntos funcionan normalmente por impacto, apretando una cinta contra el papel de la misma forma que las máquinas de escribir.

Algunas impresoras funcionan calentando la matriz y apretándola contra un papel tratado químicamente, no siendo necesaria la cinta. Las impresoras de matriz de puntos son versátiles y pueden ser muy veloces, imprimiendo en algunas ocasiones más de 300 caracteres por segundo.

Otras impresoras tienen una esfera con las letras en relieve, que gira rápidamente y realiza una impresión de calidad su-



Olivetti



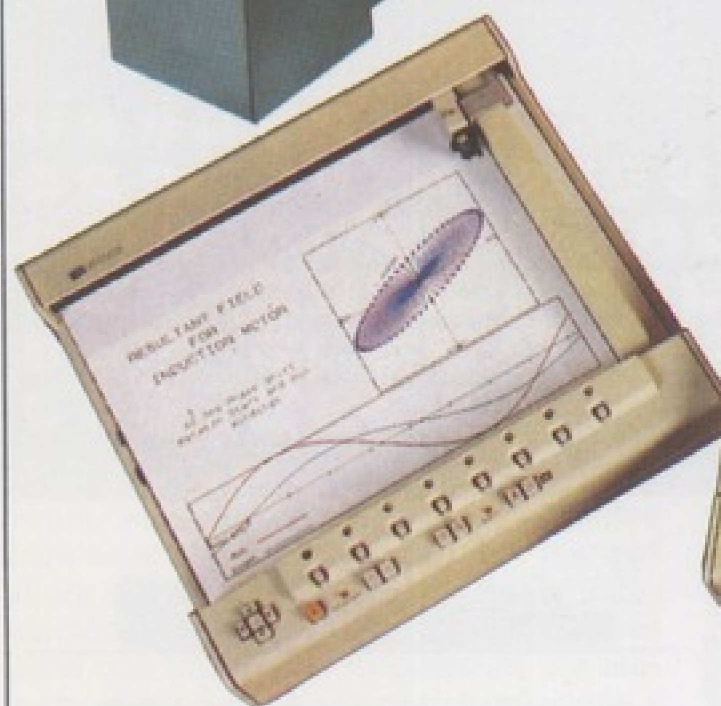
Hewlett-Packard

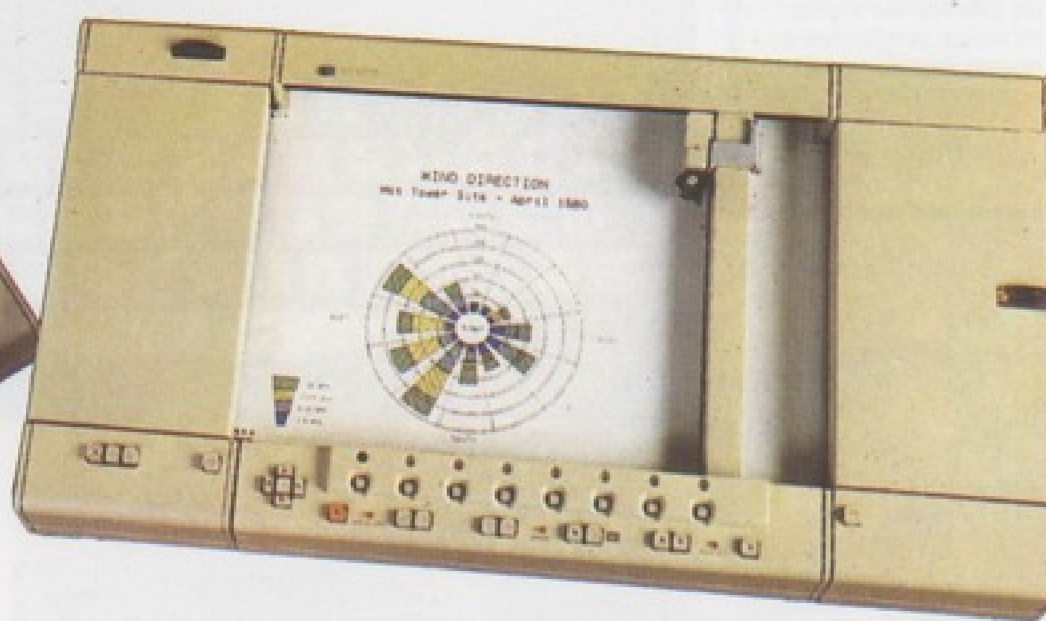
Arriba, teclados para introducir datos en los ordenadores. Los operadores que los utilizan tienen que poder trabajar con ellos de forma cómoda para conseguir grandes velocidades de introducción de datos sin errores. La forma de las teclas y la inclinación del teclado son muy importantes: en este caso existe la posibilidad de colocarlo con tres inclinaciones distintas. Para facilitar la labor a los usuarios, los teclados se adaptan al formato de las máquinas de escribir del país.



Las impresoras son capaces de escribir números y caracteres alfabéticos con mucha eficacia y velocidad. Pero cuando es necesario obtener un dibujo se utilizan periféricos llamados *plotters* o registradores gráficos. Tienen una hoja o un rollo de papel donde una pluma, o varias cuando el dibujo es en color, realizan los movimientos necesarios para obtener el dibujo. Aquí se presentan varios tipos de registradores gráficos. Existen también periféricos que permiten leer las coordenadas de puntos de un dibujo ya realizado para obtener las dimensiones de piezas mecánicas o de otras construcciones (digitalizador). La necesidad de procesar datos procedentes de los aparatos de medida más diversos ha estimulado el desarrollo de una técnica para conectar cualquier instrumento y enviar los datos a un ordenador, mediante un protocolo de intercambio común.







Arriba, una impresora láser, la más rápida de las impresoras de ordenador. Las impresoras se dividen en impresoras serie, que imprimen varios caracteres o líneas a la vez, y las de chorro de tinta o láser, como ésta. Esta impresora funciona iluminando la superficie de la cinta de papel con el haz láser, que se enciende y apaga dependiendo de cómo tenga que dibujar los caracteres deseados. La luz descarga el papel, que pierde el poder de atraer el polvo de tinta que se adherirá con el calor en el resto de papel.

perior a la de la impresora de matriz de puntos. Las impresoras de láser son muy útiles cuando es imprescindible una velocidad muy alta y gran producción. Algunas máquinas de escribir electrónicas modernas se pueden utilizar como dispositivos de salida.

Dispositivos de entrada/salida Para conectar los distintos periféricos de un sistema se utilizan a veces unos periféricos llamados distribuidores de entrada/salida. Este dispositivo, que adopta múltiples formas, hace que las instrucciones y datos pasen de la manera más eficaz de una parte a otra del sistema. Por ejemplo, cuando se crea un documento en la memoria del ordenador y se archiva en un disco, viaja a través de un distribuidor de entrada/salida, y cuando el documento se tiene que imprimir, vuelve del archivo o memoria auxiliar también a través de este dispositivo. Este periférico, que normalmente contiene un circuito de semiconductor con instrucciones para todos los tipos de transferencia de datos, permite que los periféricos realicen su trabajo con más eficacia, debido a que las funciones de comunicación no se tienen que repetir en los demás elementos del sistema.

Los dispositivos de entrada/salida tienen un tamaño variable entre el de un libro normal, para un dispositivo utilizado en un ordenador personal, y el de un automóvil, para un dispositivo utilizado en un ordenador con más de mil usuarios.

Telecomunicaciones El nacimiento de las telecomunicaciones, impulsadas

posteriormente en parte por el desarrollo de los ordenadores, permite que éstos últimos se comuniquen también por los medios habituales de la telecomunicación: hilo telefónico, cable coaxial, transmisión por radioenlace, comunicaciones vía satélite y fibras ópticas. Todos estos medios necesitan *modems* (moduladores y demoduladores) para convertir el flujo de datos del ordenador en señales eléctricas apropiadas para el sistema que se quiere utilizar. Un modem acústico para una línea telefónica es aproximadamente 200 veces más lento —es decir, transmite 200 veces menos información en el mismo tiempo— que el modem más adelantado de las instalaciones de radioenlace, que alcanzan velocidades de transferencia de datos de más de 4 millones de bits/segundo.

Una vez que los datos se han transformado en la señal apropiada (puede ser eléctrica u óptica) se mandan como una serie de modulaciones. El modem del ordenador receptor vuelve a transformar (demodula) los impulsos eléctricos u ópticos en el formato de datos necesario para el sistema receptor.

No todos los ordenadores tienen incorporados modems, debido a que no todos ellos están pensados para comunicarse entre sí. En cualquier caso, cada vez es mayor el número de ordenadores que tienen la posibilidad de comunicarse.

Véase **Ordenador; Ordenador, ternimal de; Ordenador, unidad central de proceso**



Ordenador, programas

La programación es el arte de comunicar al ordenador la forma de resolver un problema. Los programas se denominan también con el término *software* ("componentes de programación"). Aunque existen modelos muy variados sobre la forma de tratar los problemas, no hay ninguno perfecto.

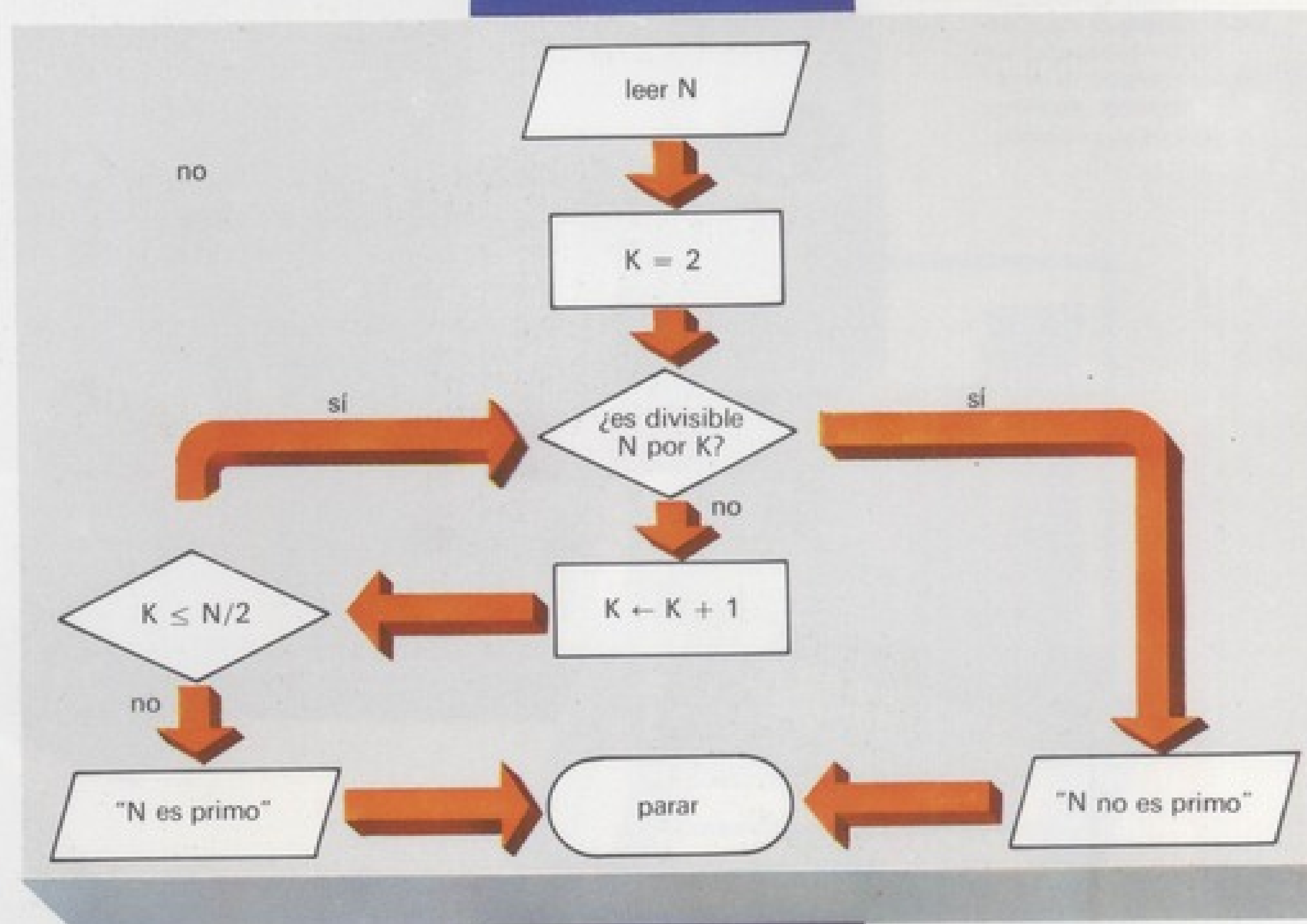
Cuando se trata de la programación de ordenadores o *software*, la situación no es siempre simple. Se puede, incluso, llegar a arriesgar la supervivencia económica de la empresa y el empleo de sus trabajadores, por lo que es importante ser capaz de hacer una estimación del tiempo y número de personas que se tendrán que emplear para hacer rentable un nuevo programa. La empresa o la organización debe ser capaz de designar a las personas y distribuir los medios para el proyecto, y hacer después los planes para el futuro teniendo en cuenta que un determinado sistema de programas se completará y pondrá en marcha en un plazo preestablecido. Por esta razón se suele dividir el proceso en un cierto número de pasos, de forma que se puedan identificar los posibles puntos difíciles y calcular así el tiempo y los medios necesarios.

Normalmente se emplean determinados procedimientos para crear un programa particular de ordenador. Las fases fundamentales son:

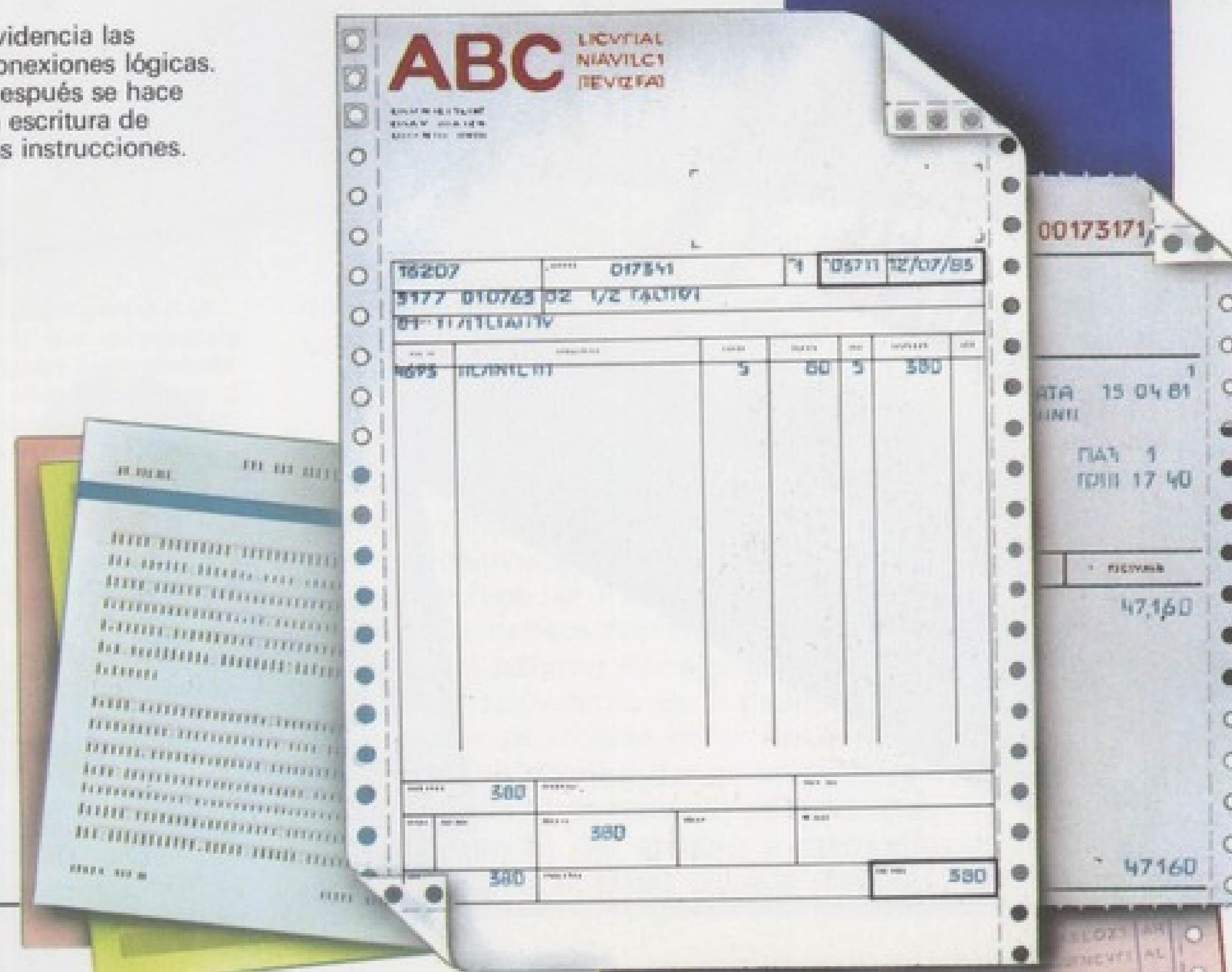
1) definición del problema,
2) preparación de la solución,
3) escritura del programa,
4) búsqueda y corrección de los errores del programa,
5) prueba del programa.

Estos puntos se suelen ir considerando en el orden indicado, aunque a veces es necesario volver hacia atrás y redefinir o volver a modificar la solución; a menudo se tiene que reescribir parte del programa cuando, al probarlo, se han encontrado los errores.






```
260  REM                              LOCATE MIDPOINT AND COMPARE
270
280  LET P2=INT (P1+P3)/2
290  SET: I P2
300  READ: MS
310  IF NS=MS THEN 440
320  IF NS=MS THEN 390
```



A la derecha, el nacimiento de un programa. El primer paso es el análisis del problema, para lo cual se reúnen los expertos en programación y los futuros usuarios. De una larga discusión nace la descripción de lo que tendrá que efectuar el programa. Además, hay que saber los resultados que se podrán ver en las pantallas de vídeo y los que se podrán imprimir. Una vez definidas las características del programa, empieza el trabajo del programador, que escribe el algoritmo, o sea, la secuencia de bloques de operaciones que se efectuarán. Los bloques están conectados por flechas que ponen en evidencia las conexiones lógicas. Después se hace la escritura de las instrucciones.







Definición del problema Lo más importante es saber con precisión lo que se quiere, pero tal información no es siempre posible. La persona que hace el encargo no siempre sabe exactamente lo que quiere o cómo definir el problema, o puede no darse cuenta de qué cosas son necesarias para conseguir su propósito.

Es de gran ayuda que las personas que hacen el encargo conozcan las dificultades relativas a éste y expliquen de forma clara al programador las necesidades y los deseos reales. Una buena comunicación en este nivel es el primer paso para un buen proyecto.

Organizar de la forma adecuada los datos para el programa es a menudo el problema más importante e interesante de todo el programa. Una vez que se han determinado cuáles son los datos necesarios y cómo se van a presentar, se puede empezar a idear el programa.

Preparación de la solución En este punto es necesario la escritura de uno o más programas de ordenador. Es mejor dividir el programa en partes, de forma que sea más fácil resolver el problema al ser una secuencia lógica de trabajos pequeños. Es muy útil trazar un diagrama de flujo u organigrama (que es una especie de diagrama visual de la lógica del programa) con cada paso descrito en una figura separada y con flechas que comuniquen las distintas figuras. La forma de cada figura (un rombo, rectángulo o círculo, por ejemplo) indica el tipo del paso dado: decisiones, cálculos, operaciones de entrada o salida, e incluso los comentarios tienen sus figuras con una forma característica. La figura de decisión (rombo) tiene dos o más líneas de salida, que corresponden al número de elecciones posibles. Las figuras de ejecución (rectángulos) pueden precisar cualquier tipo de instrucción, tan específica como "sumar 1 al contador" o bien tan general como "preparar una tabla anual".

Escritura del programa Existen muchos lenguajes disponibles para la comunicación con los ordenadores. En general, la elección del lenguaje que se va a utilizar no presenta ningún problema, ya que normalmente se elige un lenguaje de alto nivel, y, de entre éstos, uno pensado para el tipo de aplicación de que se trate. Para

A la izquierda, antes de escribir un programa se tiene que definir la forma en que se escribirán los documentos en papel: facturas, recibos y cualquier otro tipo de impreso útil en las transacciones. La definición, el diseño de impresos y la decisión sobre qué escribir en cada uno de los cuadros forman parte del trabajo de análisis y posterior realización.

Una vez que se ha escrito el programa, se introduce en la máquina, se prueba y corrige. Esto lo realiza una persona experta en el trabajo de programación, aunque no es preciso que esté al nivel de la concepción de las operaciones necesarias. Después se ensaya el funcionamiento y se procede a añadir mejoras.

el tratamiento de problemas de gestión se suele utilizar el COBOL o el BASIC, mientras que para cálculos científicos es más común el empleo del FORTRAN.

Si además se tienen necesidades particulares, se pueden emplear otros lenguajes. Por ejemplo, si es fundamental ahorrar espacio de memoria y tener gran velocidad de operación, se puede utilizar el lenguaje ensamblador, que es el lenguaje más cercano al de máquina. Con este lenguaje se pueden hacer los programas más eficaces, pero la preparación del programa es más compleja.

Sin embargo, en muchos casos no es la eficacia del programa el aspecto fundamental, sino el que entre en funcionamiento lo más rápidamente posible, de manera que no se tenga que trabajar en un proyecto demasiado tiempo. Esto es especialmente importante si el programa no se va a utilizar de forma continua. Por este motivo, en la mayor parte de los casos se prefieren lenguajes de alto nivel, que permiten al programador escribir en términos similares a los que usaría normalmente para escribir su solución del problema, y además el lenguaje utilizado, al ser muy similar al inglés, se puede leer directamente para entender el método usado en la solución. Ese programa será fácil de leer y entender por otra persona, especialmente si se insertan en el mismo comentarios explicativos.

Este proceso de aclaración es muy importante, ya que cuando un programa sin comentarios tenga que modificarse, incluso la persona que lo escribiró puede no ser capaz de interpretar lo que está sucediendo o por qué se utiliza una determinada instrucción.

El problema es mayor en el caso de programas en lenguaje ensamblador, que, como hemos dicho, refleja sobre todo la arquitectura del ordenador más que la lógica del programa.

Búsqueda y corrección de los errores del programa El programa escrito se introduce en la máquina y se compila o traduce al lenguaje máquina, que es el lenguaje que entiende el ordenador. Normalmente, durante esta traducción se detectan los errores sintácticos que a su vez revelan errores más importantes, con lo que se ahorra tiempo de programación.

Después de haber corregido y traducido el programa y estar éste sin errores visibles, el paso siguiente es probarlo con datos de ensayo de los que se conozcan los resultados exactos para ver si el ordenador da los resultados deseados.

Prueba de la lógica Es aquí donde pueden darse los errores más serios. Existen errores de lógica cuando lo que se ha hecho es perfectamente correcto en la forma, pero el resultado no es exactamente lo que se quiere. Algunas veces los errores de este tipo se buscan durante meses

Un programa de ordenador es algo poco material, pero se puede poner a prueba para valorar su calidad. En general, tiene que poseer determinados requisitos que pongan de manifiesto su valor y justifiquen su precio. Entre ellos está la *interactividad*, término que indica la propiedad del programa de dialogar con el usuario, o sea, de hacer preguntas y obtener las respuestas que necesita para continuar la ejecución. Si al usuario se le hace la pregunta precisa, es difícil que se equivoque al responder; además, el sistema puede ser utilizado también por un operador poco experto.



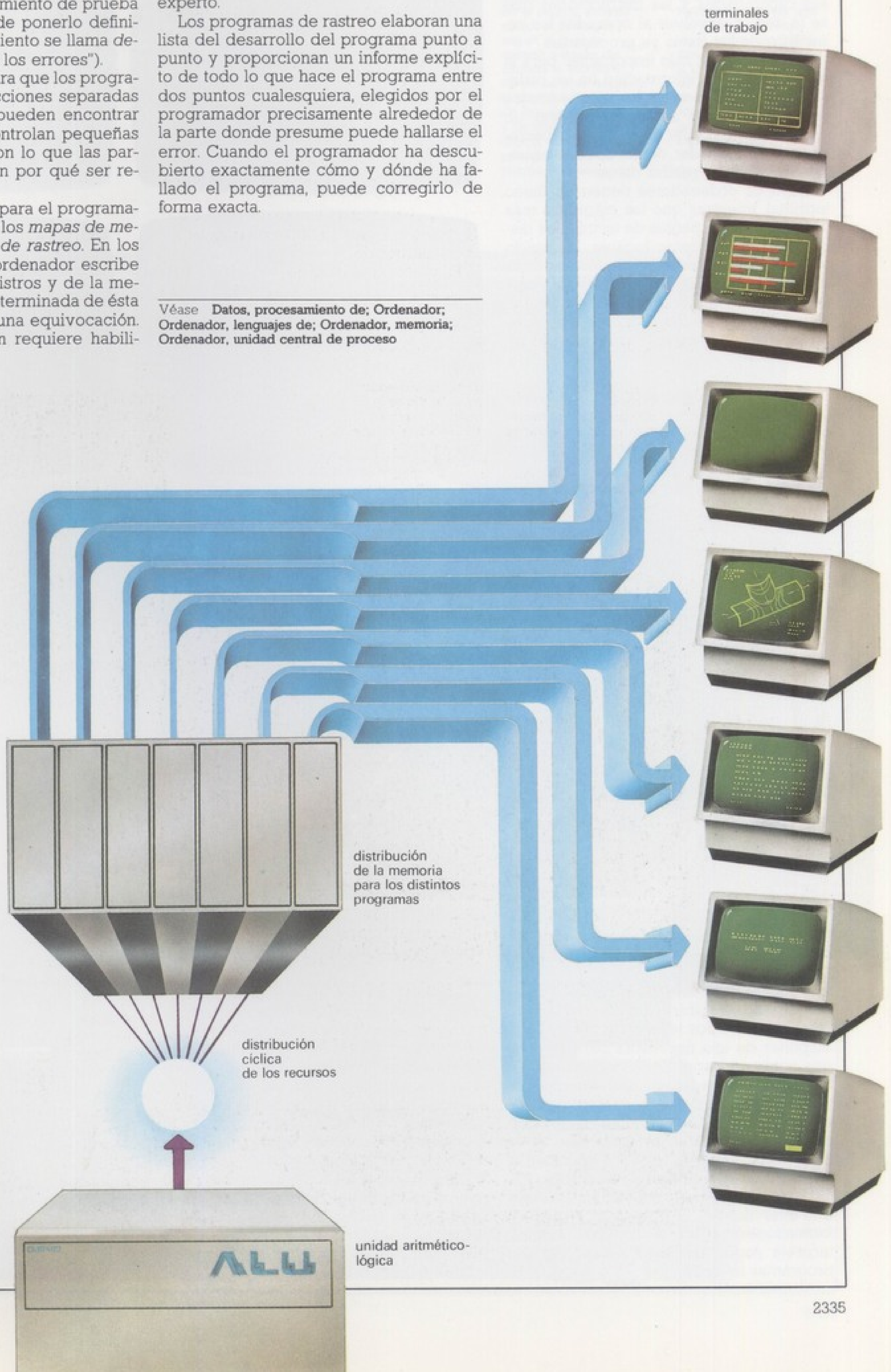
sin que aparezcan, e incluso cuidadas pruebas con distintas cantidades de datos pueden no encontrarlos. Los programadores los llaman errores *bugs* (errores "escondidos"); y el procedimiento de prueba de un programa antes de ponerlo definitivamente en funcionamiento se llama *debugging* ("búsqueda de los errores").

Una de las razones para que los programas se escriban en secciones separadas es que los errores se pueden encontrar más fácilmente si se controlan pequeñas partes del programa, con lo que las partes sin errores no tienen por qué ser revisadas.

Dos elementos útiles para el programador en la búsqueda son los *mapas de memoria* y los *programas de rastreo*. En los mapas de memoria el ordenador escribe el contenido de los registros y de la memoria, o de una parte determinada de ésta en la que haya habido una equivocación. El leer esta información requiere habilidad y paciencia para entender lo que ha sucedido y el punto en el que ha fallado el programa; en cualquier caso, es un precioso instrumento para el programador experto.

Los programas de rastreo elaboran una lista del desarrollo del programa punto a punto y proporcionan un informe explícito de todo lo que hace el programa entre dos puntos cualesquiera, elegidos por el programador precisamente alrededor de la parte donde presume puede hallarse el error. Cuando el programador ha descubierto exactamente cómo y dónde ha fallado el programa, puede corregirlo de forma exacta.

Véase **Datos, procesamiento de; Ordenador; Ordenador, lenguajes de; Ordenador, memoria; Ordenador, unidad central de proceso**



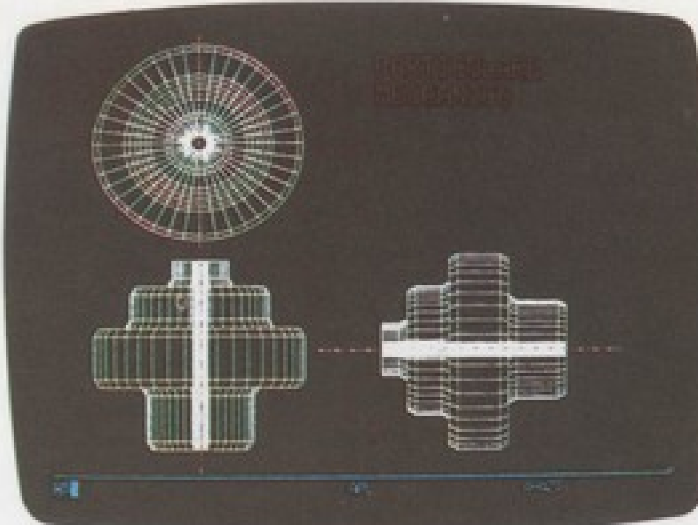
Entre las buenas características de un programa no están sólo las ligadas a la buena interacción con el usuario, sino también las inherentes a la máquina. Por ejemplo, el programa tiene que ser veloz. La velocidad depende de dos factores: la velocidad de la máquina y lo bien pensado que esté el programa. Los ordenadores de grandes dimensiones suelen ser también veloces, pero se pueden volver "lentos" si son utilizados por muchos usuarios al mismo tiempo. Algunos trabajos, por ejemplo el ordenar una serie de nombres, se pueden realizar con programas lentos o programas rápidos, pero estos últimos son más difíciles de escribir y probar. Los programas rápidos son indispensables cuando el sistema trabaja despacio debido al servicio simultáneo de muchos terminales, como está ilustrado a la derecha. Cada terminal tiene acceso a una parte de la memoria y utiliza la CPU durante una fracción de tiempo (tiempo compartido). El resultado que se aprecia desde el exterior es un trabajo más lento, proporcionalmente al número de terminales que está conectado.

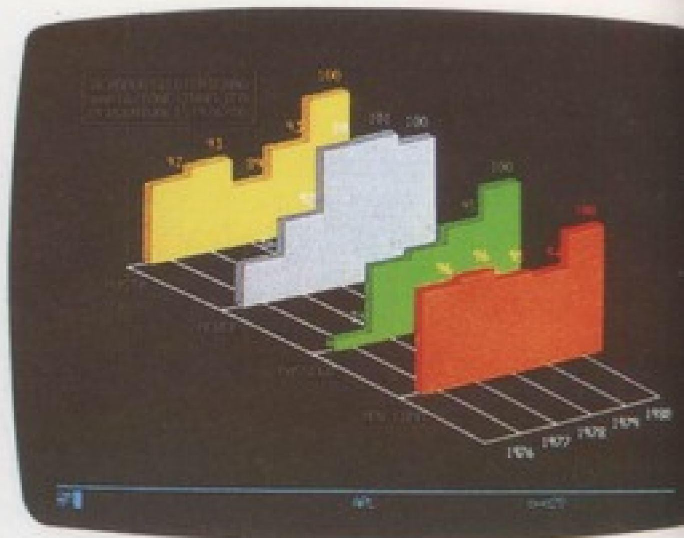
Ordenador, terminal de

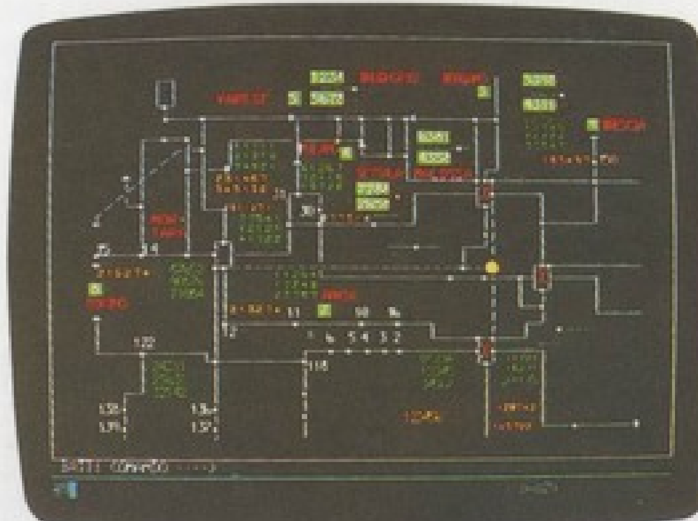
Un gran ordenador moderno se parece más a una fábrica electrónica que a un cerebro electrónico. Puede aceptar datos de diversas fuentes, procesarlos según sus capacidades y las instrucciones que se le den, y devolver al operador los resultados de los datos ya procesados.

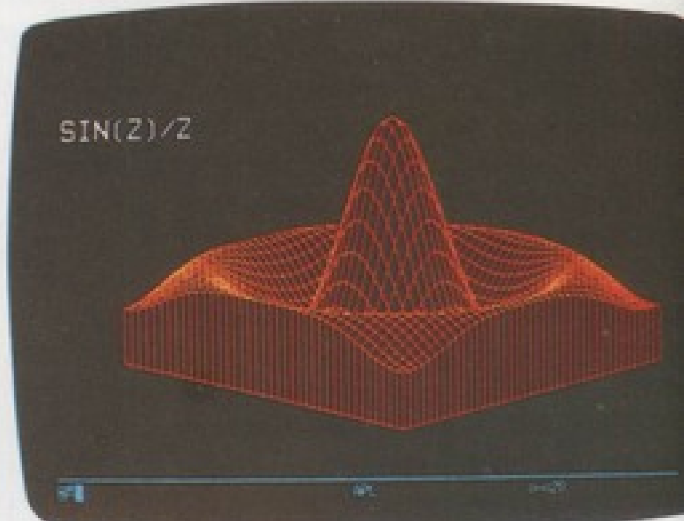
Los elementos más importantes para la transferencia de información en un ordenador con unidad central separada son los terminales. Como definición general, un terminal es cualquier dispositivo, conectado con el ordenador, desde donde se pueden introducir y recibir datos.

Algunos ordenadores tienen un único terminal, mientras que las máquinas más potentes tienen cientos de terminales distribuidos en distintos lugares, pudiendo estar alejados e interconectados con otras unidades centrales para formar una red. Este tipo de ordenador suele estar en servicio en grandes instituciones comerciales, industriales, administrativas o de investigación.

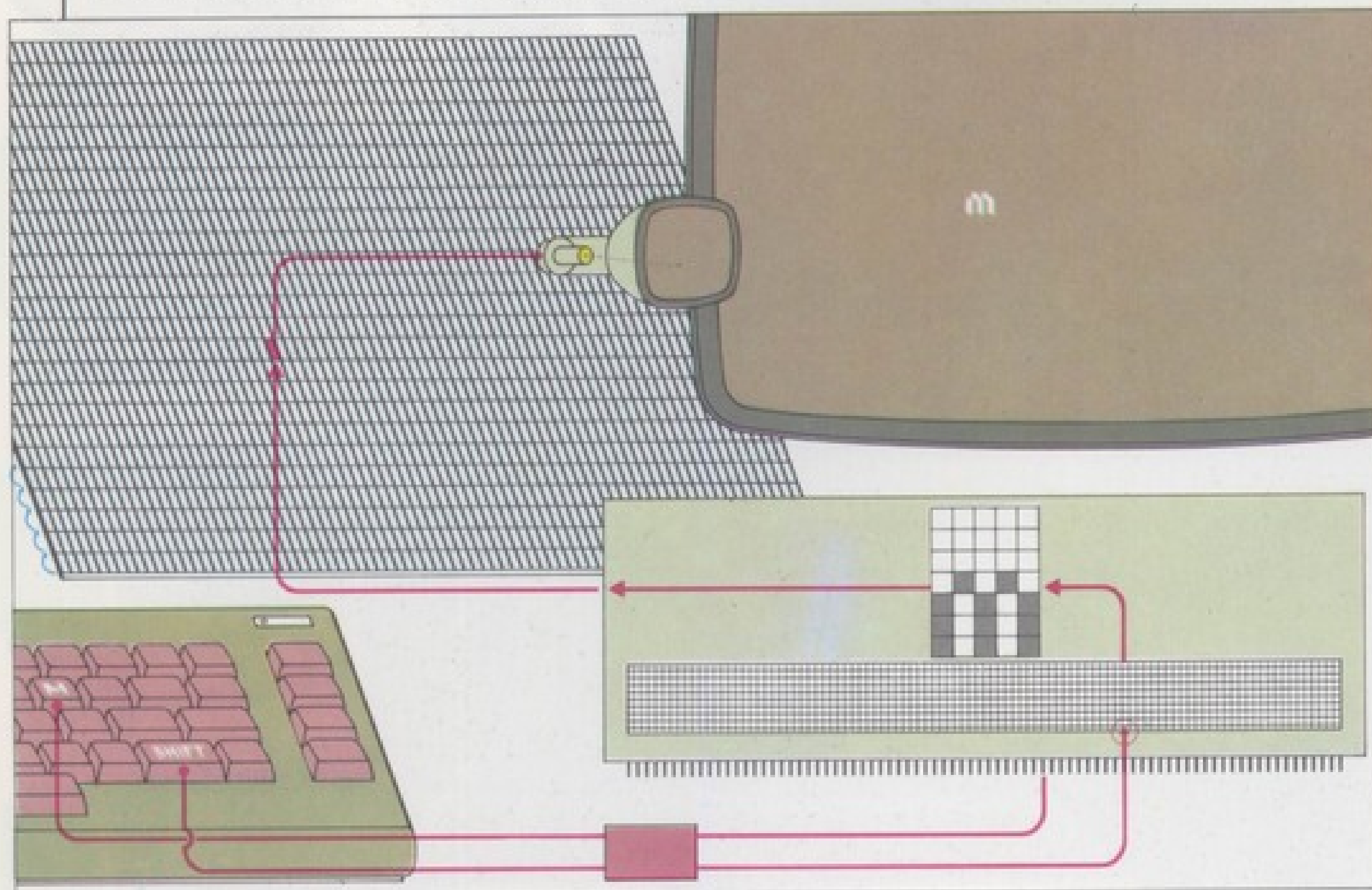








Componentes de un terminal El terminal de ordenador más común está formado por un teclado —muy parecido al de una máquina de escribir electrónica, aunque suele tener algunas teclas más— y una pantalla de vídeo; con este tipo de terminal se pueden introducir datos a través del teclado o recibir resultados en la pantalla. Junto con los terminales es muy útil disponer de una impresora para obtener una copia en papel de los resultados del trabajo que ha realizado el ordenador.



La función del teclado es introducir en el ordenador las instrucciones del programa y los datos (la información que se va a procesar). Muchos teclados codifican la información que envían en el código ASCII (American Standard Code for Information Interchange). El ordenador recibe informaciones codificadas en ASCII y las interpreta según las instrucciones de sus programas internos.

Además de las teclas de caracteres normales, los terminales tienen teclas con funciones especiales. Estas teclas permiten que el operador ejecute más rápidamente algunas órdenes y procesos utilizados frecuentemente en su trabajo. Por ejemplo, los terminales que utilizan los diseñadores de máquinas herramienta tienen teclas especiales para dibujar determinadas formas geométricas mucho más velozmente que si se hiciera un programa de la forma habitual. La eficacia de un programa se define a menudo por el número de teclas pulsadas para introducirlo. Sin embargo, aunque el uso de teclas con funciones especiales reduce el trabajo del operador, necesitan una programación más compleja del ordenador.

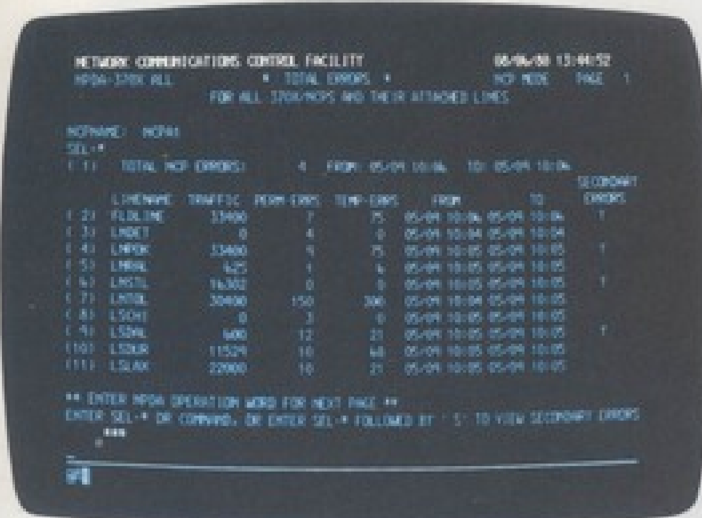
La forma más común de observar el funcionamiento y obtener los resultados de un ordenador es a través de una pantalla de televisión o tubo de rayos catódicos. Estos tubos suelen representar los datos en verde sobre fondo negro (o en negro sobre fondo verde en el llamado "campo invertido"), aunque en algunos países europeos se utiliza negro sobre amarillo.

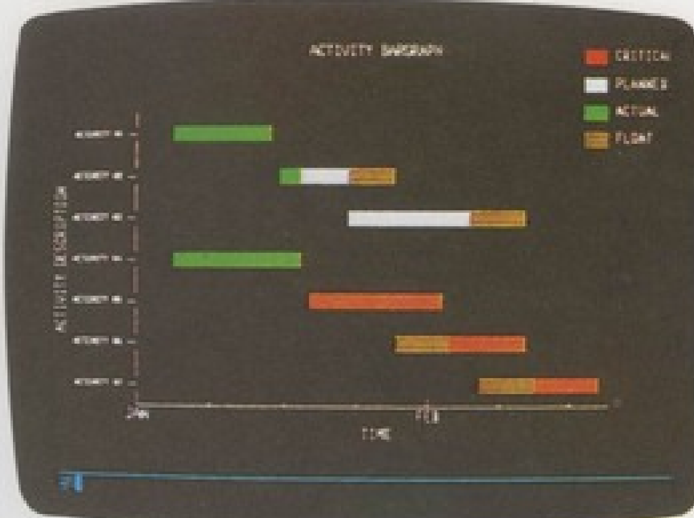
Muchos terminales tienen una impresora por medio de la cual se obtiene una copia en papel de los datos reproducidos en la pantalla. Las impresoras pueden reproducir también gráficos y representaciones a base de líneas.

Terminales "inteligentes" y terminales "estúpidos" Tradicionalmente los terminales no han tenido nunca capacidad alguna para procesar datos por su cuenta, pero ahora está empezando a utilizarse un nuevo tipo de terminal basado en los ordenadores personales. Los llamados terminales "inteligentes" no sólo ejecutan las funciones convencionales de terminal de ordenador, sino que también pueden almacenar cantidades limitadas de datos y procesarlos parcialmente.

Los terminales inteligentes se adaptan mejor a cualquier trabajo que los terminales "estúpidos"; gracias a su capacidad en algunos de sus procesos, las personas con necesidades de programación y procesos especiales pueden realizar sus trabajos en su terminal sin necesidad de bloquear una parte de la memoria del ordenador principal.

Véase **Ordenador; Ordenador, periféricos**





Algunos terminales de vídeo permiten el manejo de colores y un juego de caracteres especiales para dibujo. En la página anterior: abajo, el principio según el cual se ordena a través del teclado la escritura de un carácter sobre la pantalla. Arriba, de izquierda a derecha, y de arriba a abajo: dibujo mecánico con punteado para dar cuerpo a la pieza, representación axonométrica de datos, presentación de datos de funcionamiento de una red de cálculo y representación de una curva trascendente. Aquí arriba, un gráfico con datos estadísticos y los aspectos críticos de las distintas fases de un proyecto representados gráficamente. Debajo, una superficie diseñada como familia de funciones.

Ordenador, unidad central de proceso

Los ordenadores se denominaron en un principio *cerebros electrónicos* porque se asemejaban a la parte inteligente de los seres humanos. Sin embargo, esta denominación supone una sobrevaloración de las funciones que puede realizar un ordendor, ya que éste se limita a seguir las órdenes que le va dando el programa, comportándose como un ser sin inteligencia y no como un cerebro humano.

Dentro del ordenador hay una parte que es la que más se acerca a la "inteligencia", ya que se ocupa del control de todo el ordenador y realiza las distintas operaciones: se trata de la unidad central de proceso (CPU), que a su vez está formada por dos partes básicas: la *unidad de control* (CU) y la *unidad aritmético-lógica* (ALU).

En los microordenadores, la unidad central de proceso es un único circuito que recibe el nombre de *microprocesador* y que es el elemento fundamental, al que se añaden otros circuitos, como son las memorias y los circuitos de entrada-salida.

Unidad de control La unidad de control es un conjunto de circuitos que se encarga de "leer" una instrucción almacenada en la memoria, de interpretarla y de dar las órdenes que correspondan para que se ejecute; una vez ejecutada esa instrucción, se ocupa de la siguiente, y así hasta el final del programa. Para realizar todas esas funciones, la unidad de control tiene varias partes que se dedican a las distintas tareas.

El *contador de programa* es un registro que va llevando la cuenta de la instrucción que se ha leído, para saber cuál es la siguiente. En este registro se tiene almacenada la "dirección" de la memoria en la que está la instrucción en curso y, mientras se ejecuta ésta, al contador de programa se le suma un 1, con lo que se tiene la "dirección" de la instrucción siguiente; como el programa se almacena en las primeras posiciones de la memoria, el contador de programa va contando desde cero hasta la "dirección" de la última instrucción, que da la orden de parar.

La instrucción que se saca de la memoria principal se guarda en el *registro de instrucción* durante el tiempo necesario para su ejecución. A partir de este registro se divide la información de la instrucción según las partes que la forman; el código de operación se interpreta en los pasos siguientes y el campo de dirección sigue almacenado esperando su utilización.

La parte de la instrucción que forma el código de operación entra en el *decodificador*, que lo hace más inteligible para el *secuenciador*, circuito que se encarga de producir las órdenes necesarias para la ejecución de la instrucción. El secuenciador es el más importante y el más complejo de los circuitos de la unidad de control, ya que en un ordenador hay cientos de instrucciones diferentes y en cada una de ellas se tienen que generar numerosas órdenes internas del ordenador.

Unidad aritmético-lógica Esta unidad es la parte encargada de realizar todas las operaciones aritméticas y lógicas del ordenador, por lo que también recibe el nombre de *unidad de cálculo*. Está formada por uno o más registros acumuladores, en los que se guardan los datos o los resultados parciales o finales de las operaciones, y por un conjunto de circuitos que realiza las operaciones.

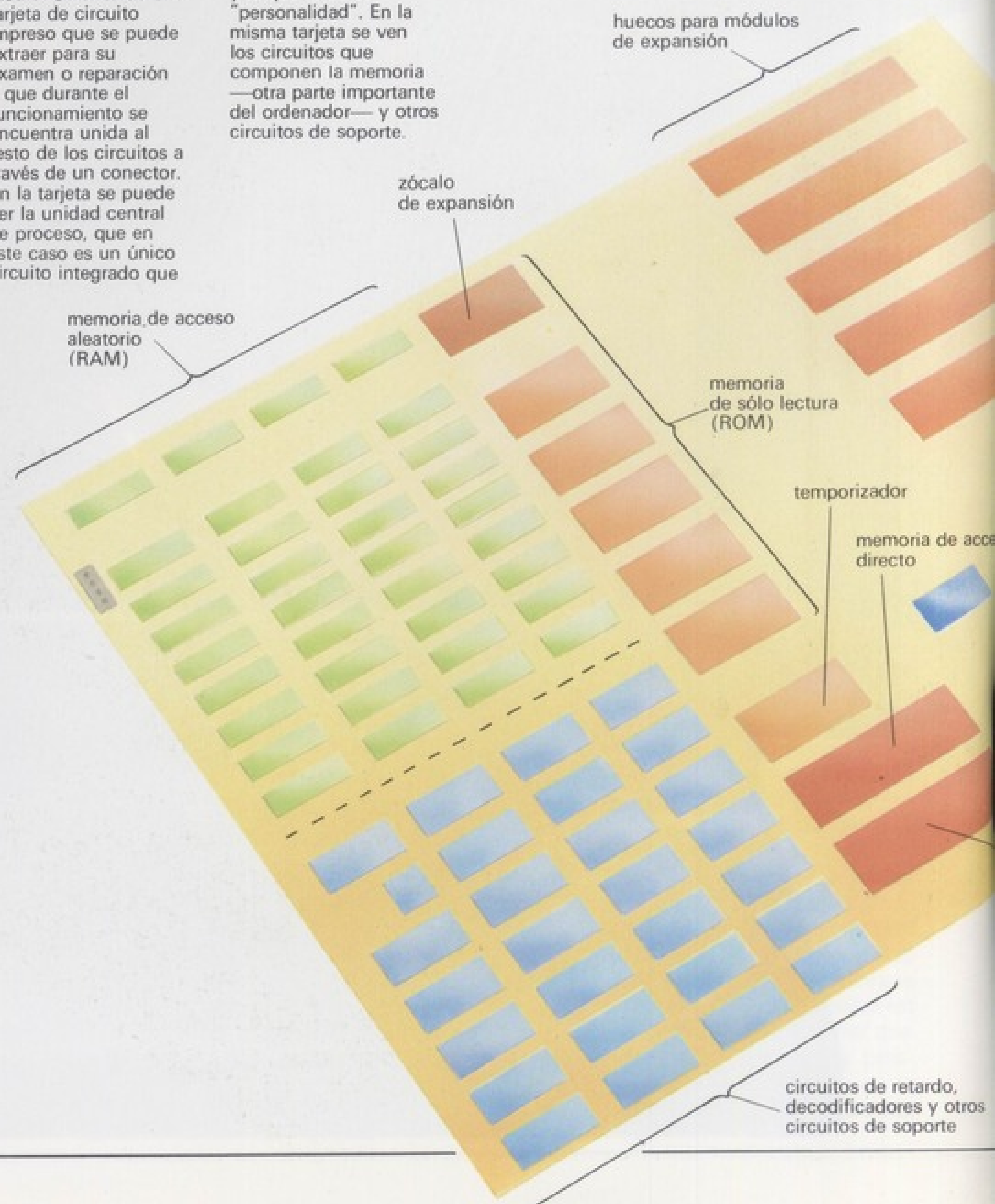
La unidad aritmético-lógica puede recibir muchas órdenes del secuenciador, cada una de las cuales corresponde a una operación como suma, resta o multiplicación. A partir del momento de recibir la orden, la unidad artimético-lógica realiza la operación entre los dos operandos que tiene en sus dos entradas y deja el resultado en el acumulador, esperando que el secuenciador dé las órdenes para llevarlo a la memoria.

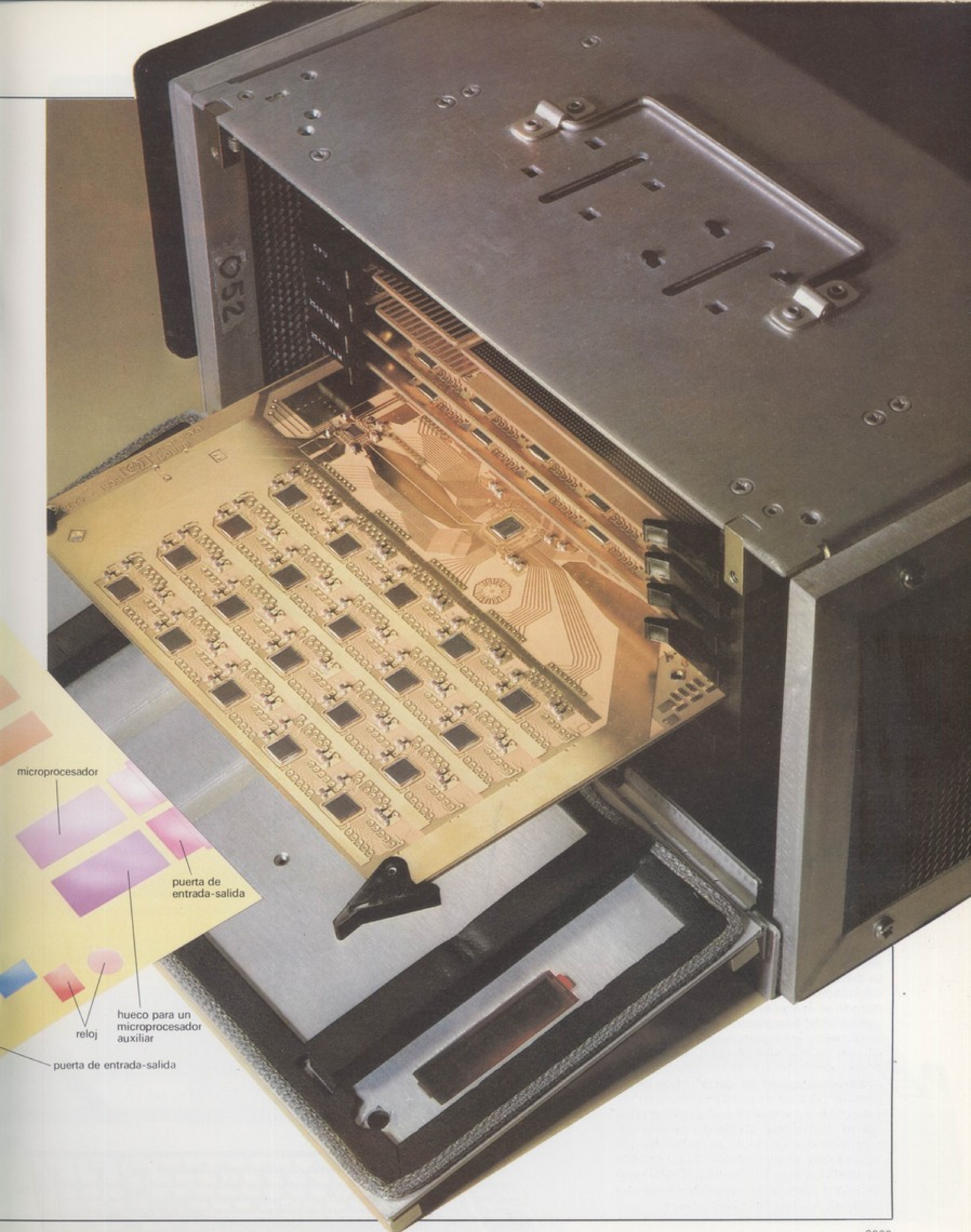
Para el funcionamiento de la unidad central de proceso y de todo el ordenador, es necesario un circuito de temporización, llamado *reloj*, que indica los momentos en los que se producen las órdenes o se hacen las transferencias, de forma que los circuitos estén estabilizados y no haya interpretaciones falsas. Esto es debido a que todos los circuitos tienen un tiempo de conmutación (retardo), por lo que es necesario esperar a que pase este tiempo para interpretar correctamente los niveles de tensión correspondientes al 0 y al 1.

Además de la unidad central del proceso, que es el circuito fundamental de todo ordenador, son necesarios muchos elementos adicionales, como son la memoria —formada en casi todos los casos por memoria de semiconductores— y los circuitos de entrada-salida —que preparan la información y la retienen el tiempo necesario antes de pasarla a las unidades de entrada-salida—.

Véase **Circuito integrado; Circuito lógico; Ordenador**

Abajo, la tarjeta que contiene los circuitos principales de un ordenador de tamaño medio. Se trata de una tarjeta de circuito impreso que se puede extraer para su examen o reparación y que durante el funcionamiento se encuentra unida al resto de los circuitos a través de un conector. En la tarjeta se puede ver la unidad central de proceso, que en este caso es un único circuito integrado que recibe el nombre de *microprocesador*. Este circuito es la parte esencial del ordenador y la que le da su "personalidad". En la misma tarjeta se ven los circuitos que componen la memoria —otra parte importante del ordenador— y otros circuitos de soporte.




microprocesador
puerta de
entrada-salida
hueco para un
microprocesador
auxiliar
reloj
puerta de entrada-salida

Ordenador personal

Desde que en 1940 se inició el procesamiento electrónico de datos, los ordenadores han ido mejorando en todos sus aspectos. Se han hecho más inteligentes, es decir, capaces de realizar programas más complejos y de manejar más datos; más veloces, ya que pueden realizar un número mayor de cálculos y operaciones por segundo; más pequeños, disminuyendo su tamaño a pesar de desarrollarse en otros aspectos.

Los ordenadores personales representan la mayor evolución en cuanto a capacidad de procesamiento, ya que una máquina no muy grande, del tamaño de una máquina de escribir, puede trabajar como uno de aquellos ordenadores de los años 50, cuya unidad central tenía el tamaño de una habitación.

Características generales En general los ordenadores personales son relativamente baratos. Suelen ser también de pequeñas dimensiones y la mayor parte de ellos tiene una unidad central del tamaño de una máquina de escribir. Esta parte del ordenador suele incluir la unidad central de proceso (CPU) —que es la parte más inteligente del ordenador—, la memoria, circuitos auxiliares y un teclado para introducir instrucciones en el ordenador.

Aunque existen accesorios muy útiles y, en muchos casos, necesarios, el conjunto CPU-memoria-teclado constituye la parte esencial del ordenador. Para los circuitos lógicos internos utiliza circuitos integrados de semiconductores, o *chips*, que realizan las operaciones y almacenan la información. Las instrucciones del sistema operativo del ordenador se almacenan en memorias tipo ROM (*read-only-memory*, o memoria de sólo lectura). El ordenador sólo puede leer la información contenida en estos circuitos integrados: albergan la "inteligencia" de la máquina y el operador no puede alterarlos. Los ordenadores tienen también memorias tipo RAM (*random-access-memory*, o memoria de acceso aleatorio) para almacenar la información mientras se ejecuta el programa, y en las cuales además de leer su contenido el usuario puede modificarlo mediante una orden de escritura.

El tamaño de la memoria de un ordenador personal varía de 8.000 a 64.000 bytes (el *byte* es una unidad de datos equivalente a 8 *bits* —8 dígitos binarios—). La memoria RAM es temporal, es decir, la información que contiene desaparece cuando se apaga el ordenador, quedando los circuitos integrados de RAM vacíos y preparados para almacenar nueva información de otro programa.

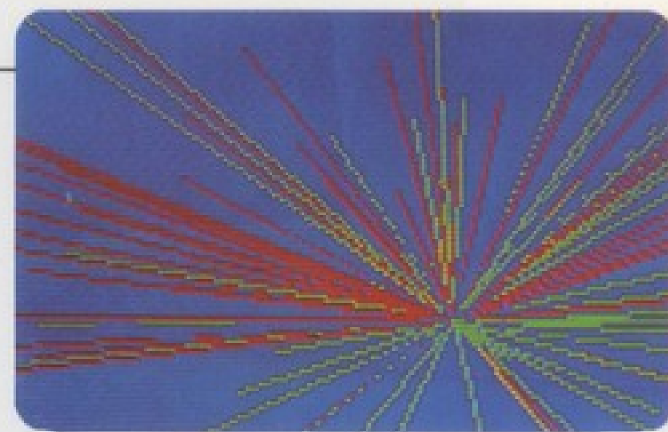
Almacenamiento de datos Los ordenadores personales pueden almacenar información en dispositivos externos con los que se pueden conectar. Los más comunes son las unidades de disco, que utilizan discos tanto flexibles como rígidos. La información se puede recuperar y trasladar del disco a las memorias RAM del ordenador para su procesamiento. Los discos magnéticos si se desea se pueden borrar y modificar. Las cintas magnéticas de casete también se utilizan como memoria auxiliar pero, comparadas con los discos, son más lentas ya que el acceso a la información es de tipo secuencial.

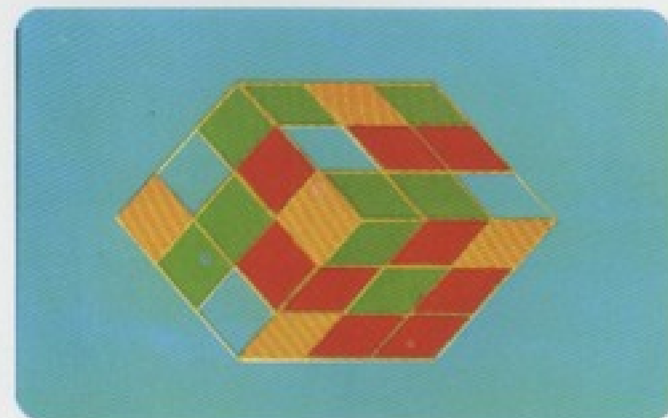
Los datos también se pueden almacenar directamente en la memoria principal de otro ordenador de mayor capacidad.

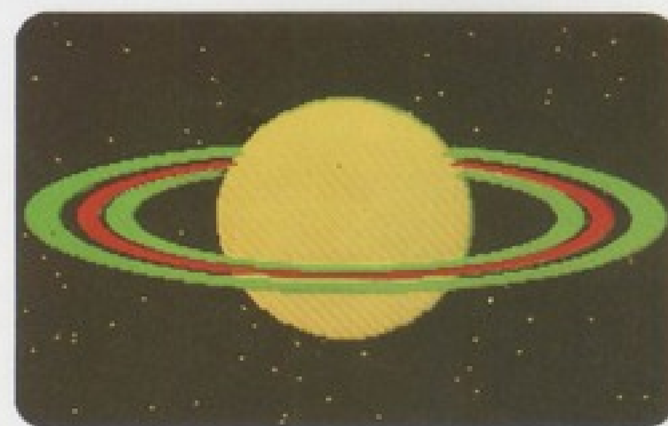
Al ordenador personal se le pueden suministrar los datos por teléfono o —cosa más habitual en las oficinas— se puede conectar el ordenador personal a la unidad central de otro ordenador mediante el empleo de una línea adecuada.

Programas Junto con las instrucciones del sistema operativo (almacenamiento en ROM), los programas proporcionan al ordenador los procesos e instrucciones necesarias para desarrollar una determinada aplicación.

Los programas que ya están desarrollados están registrados en discos o cintas, que se introducen en el sistema en el momento adecuado. Los programas típicos de un ordenador personal incluyen programas de procesamiento de textos (*word processing*), edición de textos (*text editing*), aplicaciones financieras, programas educativos y videojuegos. El ordenador es inútil sin programas y existe una fuerte competencia para poner a punto y vender programas eficaces.







ORDENADÓR PERSONAL - CARACTERISTICAS	
CPU (unidad central de proceso)	desde 4 kilobytes (kB) a 128 kB
Velocidad media de trabajo	de 10 a 10.000 instrucciones por segundo
Posibilidades gráficas	de sólo letras y cifras A, &, 7 a símbolos gráficos ⟼ ✱ ○ □ ■ △ ▲ y colores rojo, verde, azul
Memorias auxiliares	de cinta 100 kB de disco desde 150 kB a 10 MB
Terminales	uno, excepcionalmente dos
Impresoras	interna, externa o en serie

A la izquierda, un resumen de las características típicas de los ordenadores personales, referentes a su capacidad y velocidad de trabajo, y a los periféricos. Comparando los datos de esta tabla con los de los grandes sistemas de cálculo se deduce que los ordenadores personales llegan a superar a los grandes sistemas en cuanto a la capacidad gráfica de los terminales de vídeo.



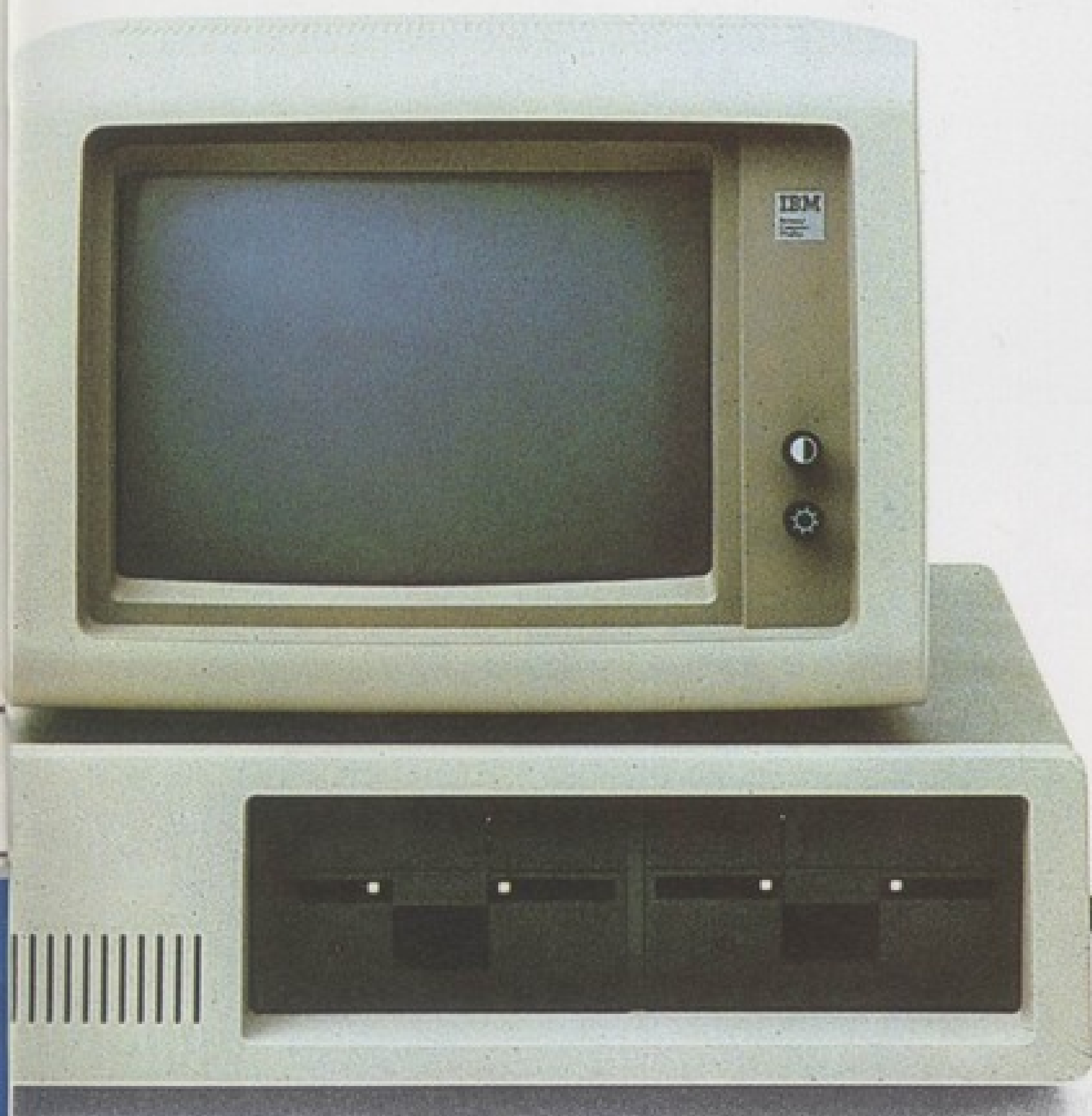
Otros accesorios Los datos introducidos en el ordenador y los resultados se ven normalmente en una pantalla de vídeo, que puede ser un monitor especial para ordenador o el receptor normal de una televisión. Para transmitir los datos por línea telefónica es necesario transformar las señales eléctricas que da el ordenador por medio del MODEM. Otro accesorio muy útil para disponer de los resultados escritos es la impresora.

Versatilidad del ordenador personal La característica más interesante de los ordenadores personales es su capacidad para realizar las aplicaciones más variadas. Es un aparato de bajo costo que se puede utilizar para videojuegos, gestión de ficheros, para comunicar con un ordenador de gran capacidad, escribir cartas o estudiar idiomas. El usuario puede hacer e introducir sus propios programas o utilizar los que le son útiles. Con dimensiones que van desde el tamaño de un libro de bolsillo a una pequeña maleta, los ordenadores personales tienen su única limitación en la inteligencia e imaginación de sus usuarios.

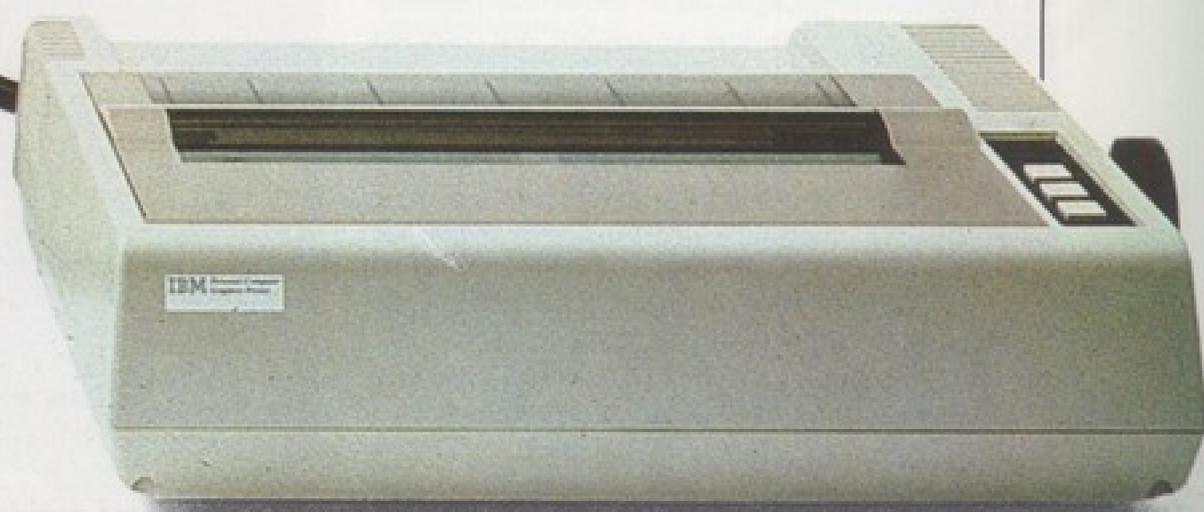
Véase **Ordenador; Ordenador, lenguajes de; Ordenador, memoria de; Ordenador, periféricos; Ordenador, programas**



En la página anterior, arriba, tres dibujos detallados que se pueden obtener en una pantalla con un ordenador personal. Actualmente están disponibles más terminales de vídeo para ordenadores personales que para grandes sistemas. Bajo estas líneas, un ordenador personal, que ha aprovechado la posibilidad de encerrar en circuitos integrados todas las funciones que antes realizaban diversos aparatos. A pesar de la posibilidad de incluir todos los componentes en una única caja, se ha preferido separar los ordenadores personales en varias unidades, lo que se debe más a razones de conveniencia que de necesidad: el tener la impresora separada permite conectar distintos modelos. Aquí arriba, un ordenador personal supercompacto: aparentemente se reduce sólo al teclado. El coste de una unidad de este tipo es pequeño y sigue siéndolo si se quiere ampliar sus posibilidades. Como pantalla se puede utilizar un televisor normal. La posibilidad de ir adquiriendo los periféricos a medida que se necesitan equivale a una compra a plazos. Debajo, el puesto de trabajo en una oficina con un ordenador personal: unidad central con teclado, impresora, unidad de discos y pantalla.







Ordoviciense, período

Muchos millones de años antes de que, por medio de la deriva de los continentes, la Tierra adquiriera su configuración actual, mucho antes también de que los fenómenos orogénicos desembocaran en la formación de las montañas, y unos 550 millones de años antes de las glaciaciones cuaternarias, se produjeron en nuestro planeta ciertos fenómenos biológicos y evolutivos que dieron como resultado durante el Paleozoico (era Primaria) una gran variedad de invertebrados marinos, así como de otras formas de vida.

El período Ordoviciense, perteneciente a la era Paleozoica, comenzó hace unos 500 millones de años, y tuvo una duración de unos 70 millones de años. Salvo los tres primeros Vertebrados fósiles de este período: son "peces acorazados", que tenían el cuerpo recubierto de placas óseas. En Europa se inicia una transgresión (es decir, invasión del continente por el mar), y toda la fauna característica de dicho período son grupos marinos (Graptolitos, Trilobites, etc.), con lo cual las formaciones ordovícicas continentales son difíciles de reconocer. En cuanto a la paleogeografía del Ordovicense, la transgresión redujo gran parte de Europa a un extenso archipiélago. Posteriormente, hubo una serie de movimientos orogénicos que transformaron Europa en un continente noratlántico, que quedaba separado del continente austral por el Mar de Tetis (o Mesogea).

Es difícil caracterizar las condiciones climáticas reinantes en este período. Del abundante registro fósil se deduce que existía un clima suave, con aguas cálidas.

El continente noratlántico comprendía, aparte de la Europa central y septentrional, gran parte de América y Groenlandia, donde había extensiones heladas, que corresponderían a la actual Antártida.

Estratigrafía Durante el Paleozoico la mayor parte de la Tierra estaba cubierta de mares poco profundos. La transgresión ordoviciense dejó al descubierto las zonas más altas de los continentes, como podían ser los montes Urales rusos, o los Andes de Sudamérica.

El Ordoviciense fue el segundo período de la era Paleozoica. Los dos primeros sistemas establecidos en el Paleozoico fueron el Cámbrico y el Silúrico. Poco después, a mediados del siglo XIX, el geólogo inglés Murchison consideró el Ordoviciense como la subdivisión más antigua del Silúrico.
El clima era suave y los océanos ocupaban la mayor parte de la Tierra. Los mares eran poco profundos, y en ellos habitaban numerosas clases de algas: algas clorofíceas, como la familia de las *Dasicladáceas*, y las primeras algas pardas, como los géneros *Solenopora* y *Delesserites*. Se trataba de algas cuyas paredes celulares estaban impregnadas de carbonato cálcico. De estas algas "calcáreas" se conocen restos fósiles. La gran expansión de algas verde-azuladas durante este período coincidió con las primeras apariciones de algas pardas. Sólo en el Ordoviciense superior y ya en el Silúrico empieza a extenderse la vida vegetal sobre los continentes. La adaptación a la vida terrestre implicó un paulatino cambio estructural en los vegetales. Las primeras especies continentales eran plantas palustres, con caracteres intermedios entre algas y musgos. El abandono del medio marino implicó el desarrollo de tejidos vegetales de sostén. Todos estos cambios ocurrieron a partir del Silúrico superior, y la evolución estructural de las plantas continuó a lo largo del resto del Paleozoico. Aparte de un esqueleto que les permitiera mantenerse erguidas, había otro requisito esencial para conquistar el medio terrestre: el desarrollo de un aparato radicular que permitiera a la planta fijarse al suelo. Esta nueva adaptación fue paralela al desarrollo de tejidos conductores que permitían transportar a todas las zonas de la planta los principios nutritivos absorbidos por la raíz. Se han encontrado en el Ordoviciense superior restos fósiles de estructuras de sostén y aparato vascular correspondientes al género *Boiophyton*. En lo referente a la vida animal, una enorme variedad de Invertebrados habitaba los mares paleozoicos: trilobites y cierto tipo de Equinodermos.

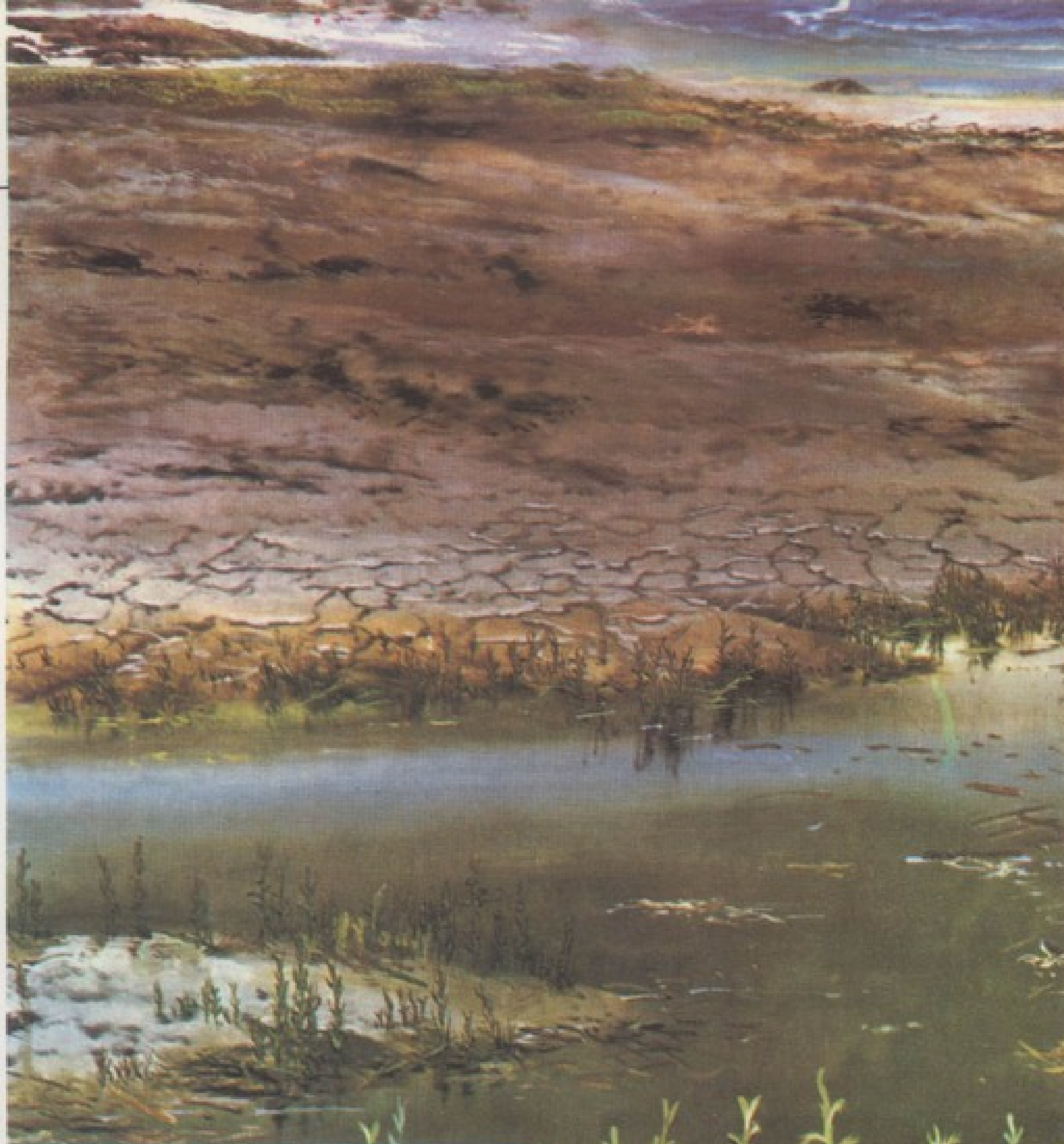
grandes continentes paleozoicos, la mayor parte del Planeta estaba cubierta por enormes océanos, y fue aquí donde se desarrolló gran variedad de animales marinos muy característicos de la era Primaria.

Charles Lapworth, geólogo inglés, introdujo el término *Ordoviciense* en 1879. Por aquellas fechas, este científico se centró en el estudio de ciertas formaciones situadas al norte del País de Gales. Antes de su invasión por parte del ejército romano, aquellas regiones galesas de la antigua Bretaña estaban habitadas por un pueblo: los Ordovícicos; de ahí el nombre de este período geológico. El Ordoviciense se encuentra situado entre los períodos Cámbrico y Silúrico, en el Paleozoico inferior. El registro fósil de la era Primaria es muy abundante. La denominación estratigráfica del Paleozoico fue polémica en Inglaterra y Centroeuropea, pero la división Cámbrico-Ordoviciense-Silúrico suele aceptarse.

La vida en los mares Un gran número de fósiles se encuentra asociado a las rocas paleozoicas. Corresponden sobre todo a Invertebrados marinos que poseían una concha o caparazón externos mineralizados, ya que los animales sin ningún tipo de esqueleto, interno o externo, difícilmente dejan un rastro fósil. Los más característicos de esta Era comprenden muchos grupos biológicos: Braquiópodos, Trilobites, algunos Cefalópodos, Equinodermos, Coralarios, Briozoos, etcétera.

Muchos representantes de estos grupos biológicos se extinguieron. Otros perduran en la actualidad, como las estrellas de mar, los corales y las esponjas, ciertos tipos de moluscos y algunos crinoideos. En Estados Unidos se han encontrado los

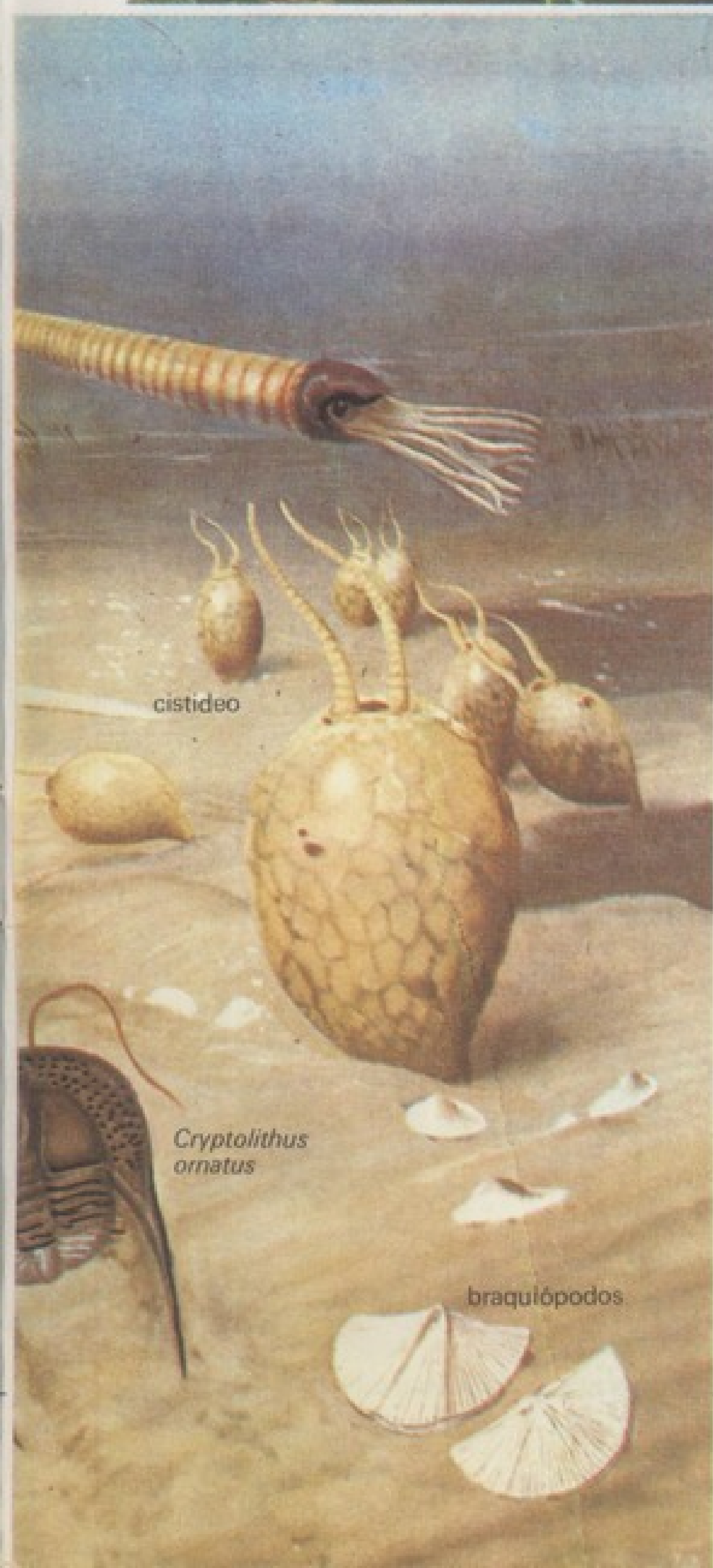




Las rocas más frecuentes del período Ordoviciense-Silúrico son calizas, pizarras y cuarcitas. La potencia (o espesor) de estas formaciones es de unos 10.000 metros. En el Ordoviciense la transgresión dio lugar a potentes bancos de cuarcitas, continuando con diversos tramos de pizarras, generalmente fosilíferas, para terminar con calizas que contienen abundantes restos de Equinodermos (cistideos). Estos materiales suelen utilizarse como punto de partida para la fabricación de cementos y otros materiales de construcción. En las calizas del Ordoviciense es frecuente encontrar vetas con depósitos de hierro, plomo, oro, cinc y otros minerales.

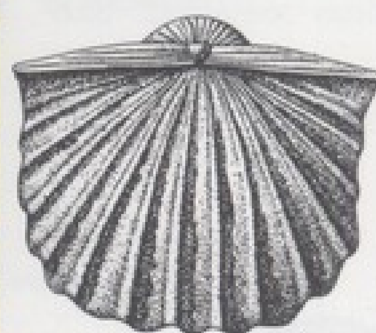
Desde principios del Ordoviciense hasta finales del Silúrico tuvieron lugar importantes fenómenos orogénicos en Europa y parte de Norteamérica, así como frecuentes erupciones volcánicas. Estos fenómenos originaron fuertes plegamientos y la deformación de los estratos sedimentados, formándose así macizos montañosos. Esta orogenia tuvo lugar principalmente en Escocia e Inglaterra, aunque también se manifestó en los países Escandinavos, Europa Central, Siberia y Groenlandia, y en las "Montañas Verdes" de Norteamérica.

Véase **Geología; Paleozoica, era; Silúrico, período**

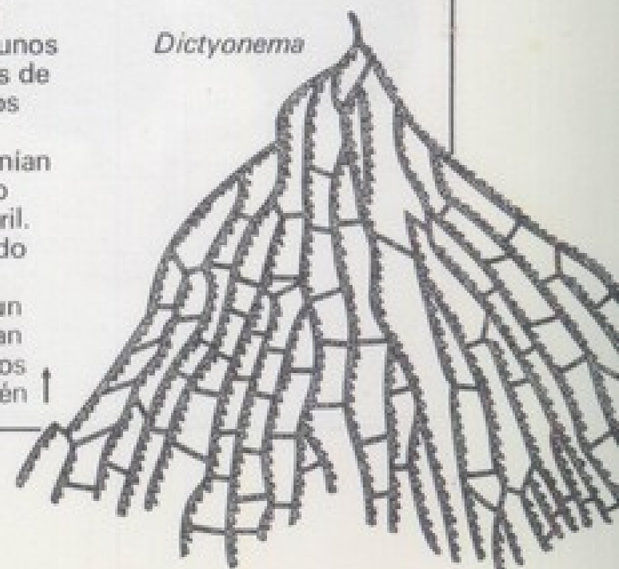


En las transgresiones marinas, el mar penetraba en el continente por unas zonas deprimidas de la corteza, de forma alargada a modo de grandes surcos, denominados *aulacógenos*. Estos se originaban en zonas de debilidad de la corteza terrestre, y en ellos tenía lugar la deposición de sedimentos, una vez que habían sido invadidos por el mar. Uno de estos aulacógenos va desde Noruega a través de Terranova hasta los Apalaches, en los Estados Unidos. También se producía sedimentación en zonas amplias, hundidas e invadidas por el mar, llamadas *cuencas marinas*. Siberia estaba ocupada por una de estas cuencas, y el oeste de los Estados Unidos, por otra. En ellas se depositaron sedimentos que han llegado a formar espesores de hasta 500 metros. En todos los continentes, excepto en el Antártico, se han encontrado rocas que datan del Ordoviciense.

Las formaciones ordovicienses han sido principalmente estudiadas en Norteamérica y Gran Bretaña. La división estratigráfica detallada de este sistema ha sido establecida en Inglaterra, basándose sobre todo en el estudio de Graptolitos característicos (grupo de organismos paleozoicos que formaban colonias flotantes).







A la izquierda y abajo, en las dos páginas, reconstrucción de dos ambientes ordovicienses. En las enormes extensiones cubiertas de mares poco profundos se inician los primeros intentos de adaptación a la vida terrestre por parte de las plantas. Sus primeros hábitats eran zonas palustres, áridas y desiertas. El género *Boiophyton* (primer plano en la fotografía) había adquirido ya estructuras esqueléticas rígidas. La vida marina tenía representantes muy característicos, como los Equinodermos. En el dibujo están representados algunos crionideos (o lirios de mar). Existían otros Equinodermos (cistideos) que tenían un cuerpo esférico o en forma de barril. Vivían fijos al fondo del mar y podían fijarse a éste por un pedúnculo. Estaban coronados por unos tentáculos. También había cefalópodos con una concha calcárea, y trilobites, que poseían un caparazón mineralizado, así como ciertos Braquiópodos. Aquí vemos varios fósiles: a la izquierda, braquiópodo *Orthis*, y abajo, el trilobites *Niobe* y el graptolito *Dictyonema*.

Organometálicos, compuestos

El término *organométalico* resulta paradójico en cierto sentido. Efectivamente, *órgano* sugiere la idea de vida, mientras que realmente no hay nada más lejano de este concepto que un metal. Se trata de una paradoja aparente, puesto que la Química orgánica es la ciencia que estudia los compuestos que contienen átomos de carbono, y los compuestos organometálicos son compuestos formados por la unión de un átomo de metal con átomos de carbono. Algunos de estos compuestos son importantes para los procesos vitales, como por ejemplo la vitamina B_{12}, compuesto organometálico llamado *cobalamina,* cuya molécula contiene un átomo de cobalto.

Metales fundamentales y metales de transición Los compuestos organometálicos pueden subdividirse en dos clases principales: por un lado, los compuestos que contienen metales considerados fundamentales, y, por otro, los compuestos que contienen metales de transición. Esta diferencia entre los metales se establece según el puesto que ocupan en la tabla periódica de elementos. Como ejemplo de metales de transición se encuentran el cinc, el hierro, el cobre, la plata y el oro. En algunos casos no se sabe con certeza si algunos elementos como el silicio, aun teniendo características metálicas, pueden ciertamente ser considerados metales, por lo que se discute si algunos compuestos orgánicos que contienen silicio pueden ser considerados compuestos organometálicos.

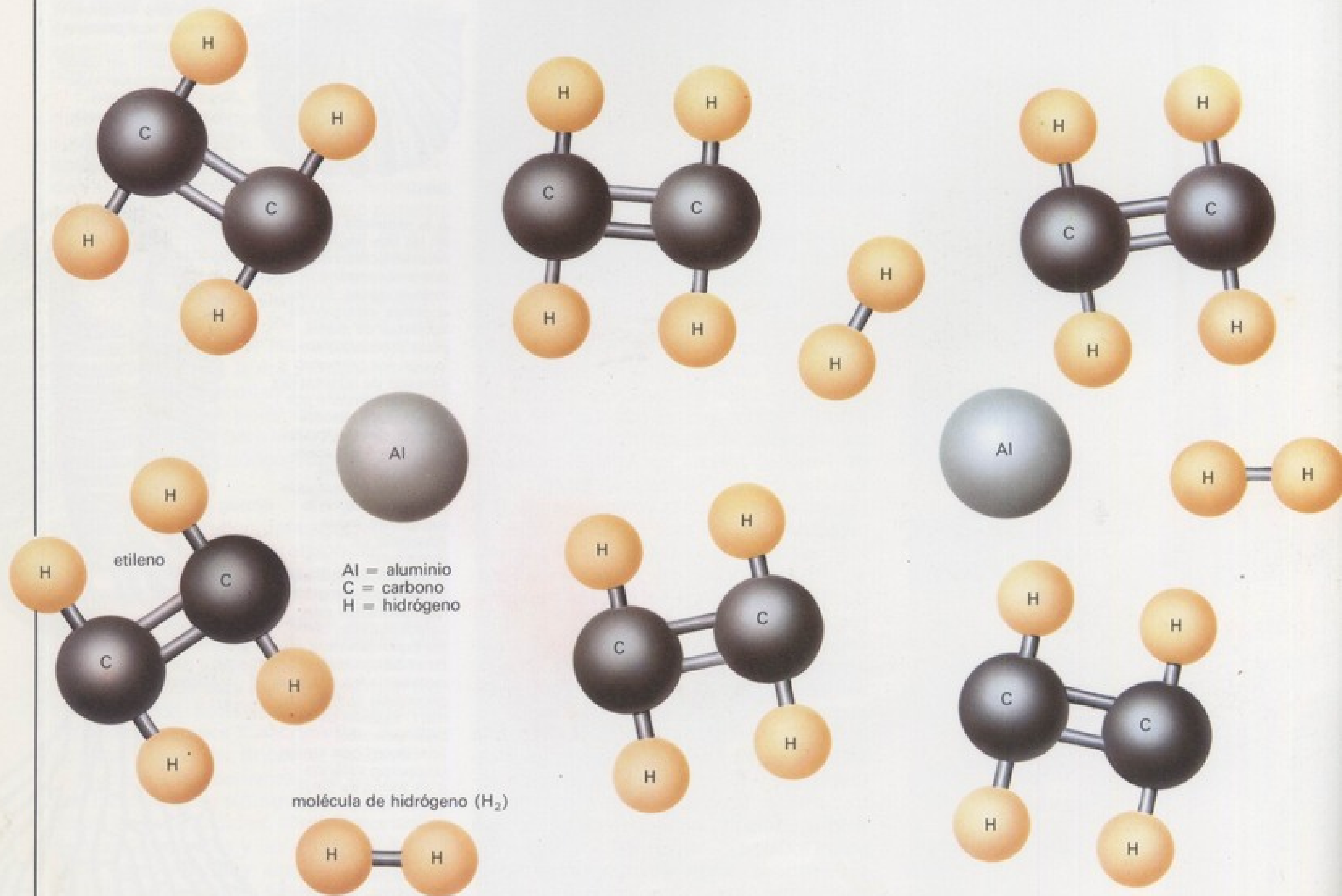
Compuestos organometálicos que contienen metales fundamentales Estos compuestos poseen diversas aplicaciones. Hasta hace poco, el empleo principal era el del plomotetraetilo, aditivo utilizado como antidetonante en la gasolina. Tiene el efecto de retardar la explosión (combustión) de la gasolina en el motor. Estos derivados orgánicos del plomo son emitidos por el tubo de escape junto a los gases de combustión, agravando los efectos de la contaminación atmosférica.

Los compuestos organometálicos de aluminio son utilizados para acelerar reacciones como las que se emplean en la obtención de goma sintética y de detergentes biodegradables, e incluso en la preparación de compuestos farmacéuticos. Los compuestos organometálicos de estaño son empleados como estabilizantes del PVC (cloruro de polivinilo), permitiendo a este polímero mantener sus características incluso a temperaturas elevadas.

Algunos compuestos organometálicos son empleados para conservar la madera, para proteger determinados cultivos y en los barnices antiincrustación (antivegetativos) para las embarcaciones. Se está considerando en la actualidad el empleo de compuestos organometálicos que contienen metales más raros, como el galio y el indio, para la producción de semiconductores electrónicos.

Compuestos organometálicos que contienen metales de transición En general, estos compuestos organometálicos son utilizados en aplicaciones diferentes a las examinadas anteriormente. Los compuestos orgánicos de metales de transición no suelen entrar a formar parte del producto final empleado en una aplicación cualquiera. Por el contrario, son utilizados como catalizadores, para acelerar las reacciones químicas que dan lugar a la formación de los mencionados productos finales. Como todos los catalizadores, aceleran las reacciones favoreciendo el contacto entre los átomos que participan en las mismas. Sin embargo, el catalizador no participa en la reacción, mientras que los átomos de la reacción se combinan entre sí formando otros productos. Al final de la reacción, el catalizador puede separarse fácilmente de forma íntegra de los productos obtenidos.

Si en general, como ya se ha dicho, los catalizadores favorecen o hacen posible las reacciones, algunos de ellos actúan en el sentido de acelerar una reacción con-

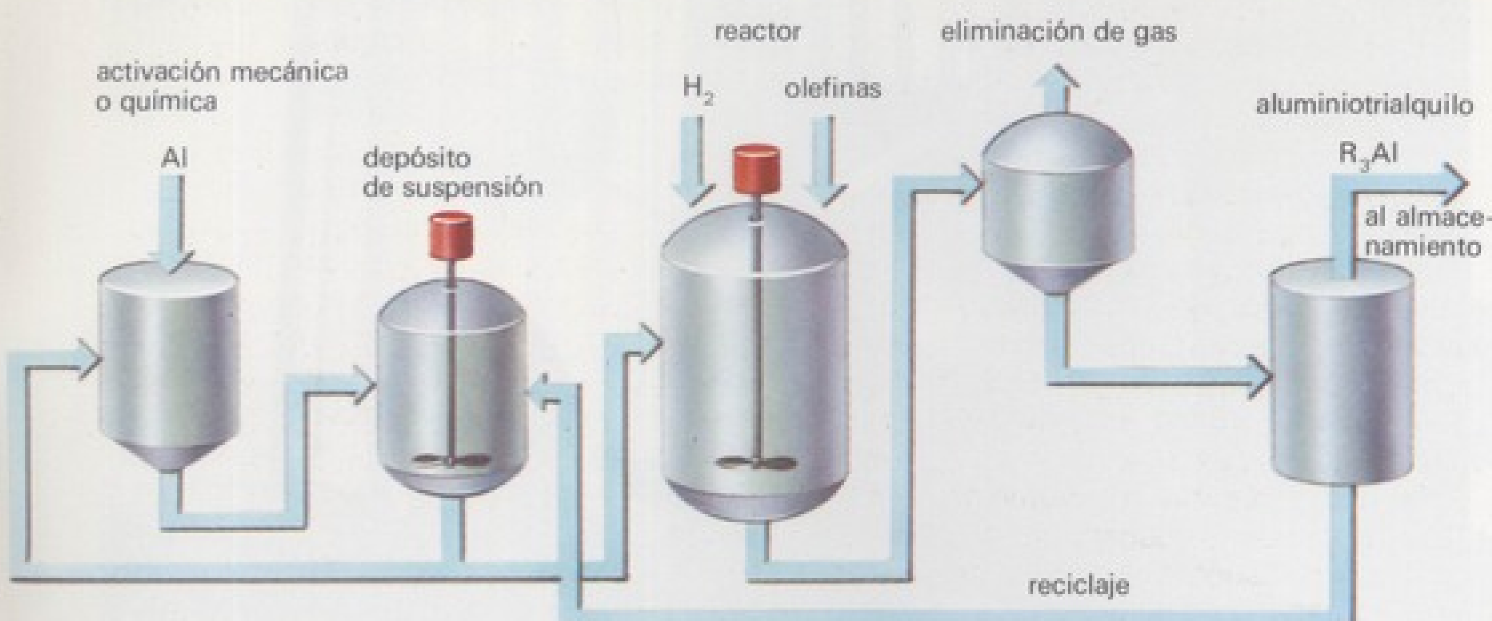


creta, obteniéndose de ésta toda una gama de productos. Efectivamente, existen catalizadores tan específicos en su actividad que catalizan reacciones que producen uno o dos productos únicamente. Algunos compuestos organometálicos de metales de transición poseen de hecho estas características y son por ello empleados como catalizadores altamente selectivos. (Por lo menos media docena de procesos industriales petroquímicos emplean estos compuestos como catalizadores para producir polímeros, fibras sintéticas, líquidos de radiadores y otros). De la misma forma, se ha demostrado que la manera más sencilla de preparar el fármaco *levadopa* se basa en el empleo de estos catalizadores con metales de transición.

Actualmente, los químicos están examinando la posibilidad de obtener hidrocarburos a partir del carbono. Estos procesos pueden abrir la vía a un amplio empleo del carbón en la producción de combustibles sintéticos, sustituyendo al petróleo.

Véase **Catálisis y catalizadores; Cloruro de polivinilo; Metales; Oxidación y reducción; Petroquímica; Química orgánica; Tabla periódica de elementos**

PROCESO MONOFASICO PARA LA SINTESIS DIRECTA DE ALUMINIOALQUILOS



Los compuestos organometálicos se caracterizan por el hecho de que en su composición siempre existe al menos un enlace carbono-metal. Se puede decir que estos compuestos representan el punto de convergencia entre los compuestos orgánicos y los inorgánicos. El estudio de los compuestos organometálicos ha sufrido un desarrollo considerable que ha permitido poner a punto procesos industriales fundamentales como son los de oxidosíntesis, catalizados por derivados carbonílicos de cobalto, y los de polimerización de olefinas, catalizados por derivados organometálicos de titanio. En este aspecto han tenido mucha importancia los compuestos orgánicos de aluminio, que han sido empleados como co-catalizadores, en combinación con los derivados del titanio, en la catálisis de la polimerización olefínica. Arriba se representa el ciclo de producción de los aluminioalquilos, como por ejemplo el aluminiotrietilo. La preparación del derivado organometálico se realiza por síntesis directa utilizando aluminio, hidrógeno y olefinas. Antes de ser introducido en el reactor, el aluminio, de un alto grado de pureza, debe ser activado, bien por procedimientos químicos, mediante el empleo de yodo o de halogenuros alquílicos, bien por procedimientos mecánicos, con objeto de aumentar el área de la superficie expuesta del metal para que las reacciones se aceleren.

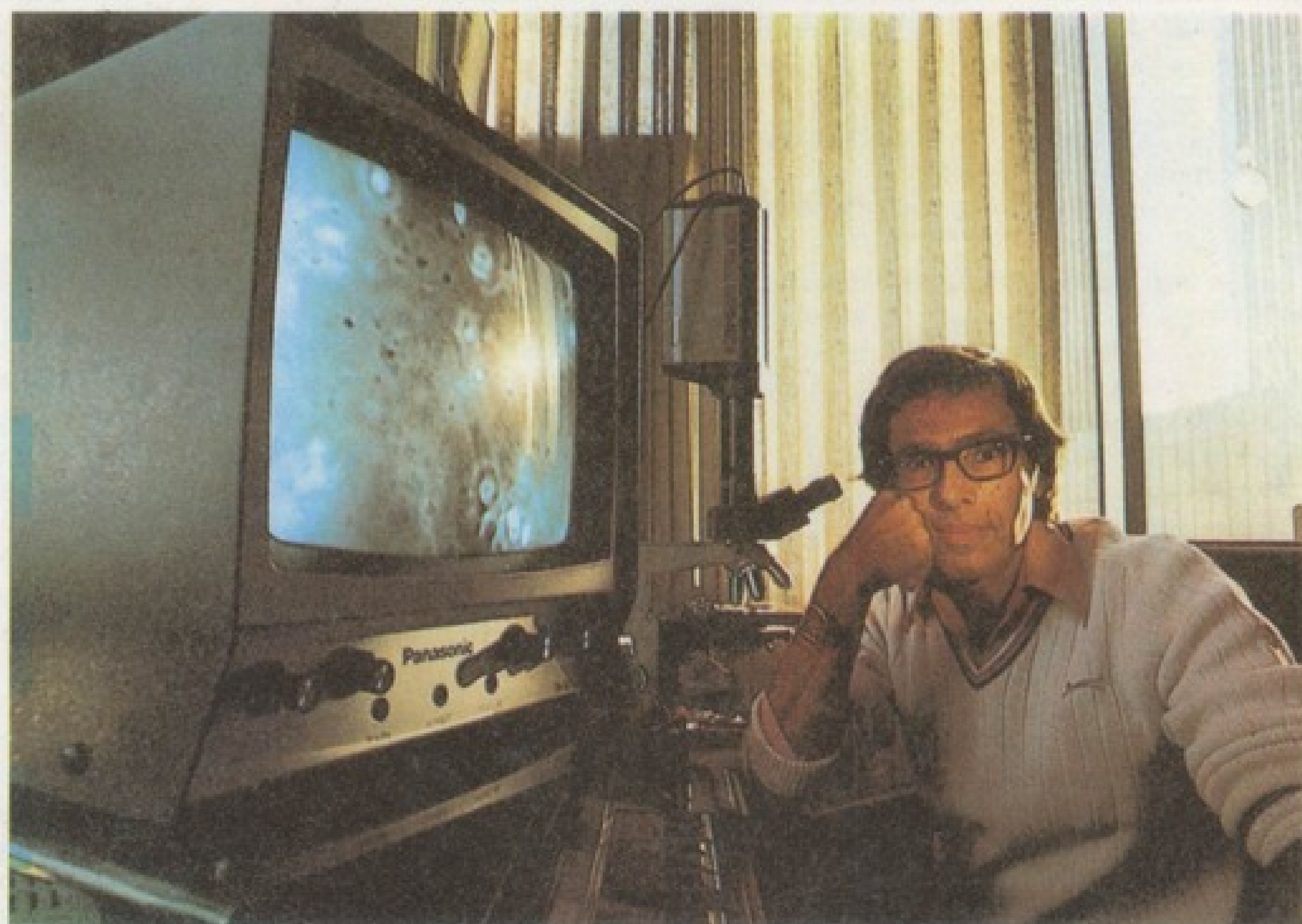
aluminiotrietilo

aluminiotrietilo

Organos, banco de

En los años precedentes a la I Guerra Mundial, una transfusión de sangre constituía un procedimiento complicado y peligroso; sólo podía llevarse a cabo si era posible encontrar rápidamente algún pariente del enfermo con un tipo de sangre compatible con la del receptor. Los errores en la transfusión podían ser fatales y con frecuencia significaban la muerte del paciente. En la actualidad los hospitales obtienen la sangre necesaria de los bancos de sangre (*hemotecas*).

Las partes del cuerpo que con mayor frecuencia se conservan en los llamados *bancos de órganos* son la sangre, el tejido corneal (esto es, el derivado de la capa córnea del ojo) y el semen. Cada una de estas partes posee características propias, así como problemas comunes. Los bancos de órganos, que se encuentran todavía en una fase inicial de su desarrollo, deben por lo tanto ser tratados por separado.

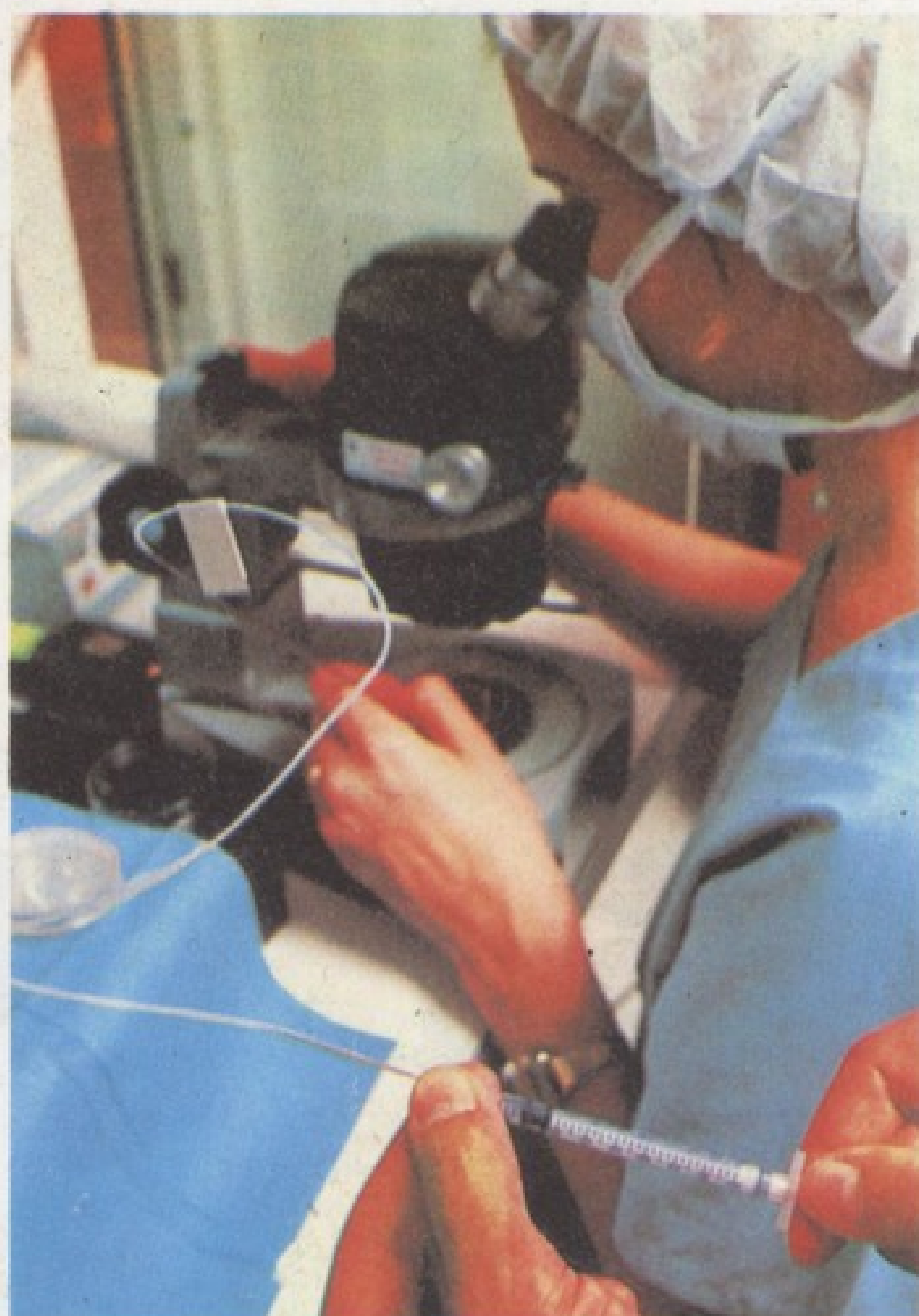


Bancos de ojos El ojo está cubierto en su parte anterior por una membrana transparente denominada *córnea*. Si los ojos sufren una lesión por una infección, heridas o quemaduras, la córnea puede sufrir reacciones inflamatorias que den lugar a manchas opacas que impidan la visión. En los últimos años se ha perfeccionado una técnica de injerto mediante la cual una sección de la córnea del ojo de una persona recientemente fallecida puede ser trasplantada al ojo de la persona con la córnea dañada.

El trasplante de córnea presenta la ventaja de que es posible afrontarlo con completa seguridad, ya que la córnea puede conservarse durante un período que oscila entre las 24 y las 48 horas (aunque, eso sí, mediante costosas técnicas de congelación). No obstante, a pesar de estas facilidades, con frecuencia se necesita mucho tiempo para hacer llegar el órgano al paciente y realizar el trasplante, por lo que se llevan a cabo investigaciones con el propósito de encontrar sistemas idóneos para conservar los ojos del donante durante períodos de tiempo largos. Un descubrimiento reciente ha constituido un gran paso adelante hacia la solución del problema. Se trata del *medio M-K*, así denominado en honor a McCarey y Kaufman,

La ciencia ha logrado hoy en día superar el problema de la esterilidad. El camino ha sido complejo y ha considerado los distintos aspectos de los mecanismos implicados en la reproducción. Por ello, ha sido necesario en primer lugar conocer completamente el ciclo ovárico y, en particular, el sistema hormonal necesario para que se produzca la ovulación. Sólo cuando se han determinado con absoluta certeza las distintas fases y las hormonas responsables, se contempla la hipótesis de una fecundación artificial. Establecida la fecundidad de la célula-huevo, se pasa a la segunda fase de la intervención, que consiste en la aspiración de esta célula. Esta intervención se efectúa utilizando un laparoscopio de fibra óptica (fotografía de la derecha) que permite localizar la célula y extraerla mediante vacío. En la fotografía a la izquierda de estas líneas puede verse cómo se conserva el semen en recipientes especiales, a la bajísima temperatura de −196 °C. En la imagen de la parte superior de esta página se ve uno de los complejos dispositivos que han de estar presentes en los centros donde se investigan las técnicas de conservación de órganos. En este caso el centro es el laboratorio del doctor C. M. Rothman, del Southern California Cryobank.





los oftalmólogos que lo idearon en la Universidad de Florida. Este medio es una solución refrigerante de aminoácidos, glucosa, sales, algunas sustancias nutritivas y dextrano, que impide al tejido la absorción de agua. En esta solución, una córnea puede conservarse bien durante una semana.

Pero, a pesar de estos progresos, los ojos, inmediatamente después de la muerte, desarrollan un proceso de deterioro continuo e imparable; por ello, el que quiera donar sus propios ojos debería avisar a un pariente próximo, a un médico o al banco de órganos más cercano, mejor que notificarlo en un testamento.

Bancos de sangre (hemotecas) La existencia de distintos grupos sanguíneos fue descubierta en el siglo pasado, pero los bancos de sangre o hemotecas no empezaron a ser seguros y prácticos hasta que fueron ideados métodos eficaces para individualizar los distintos grupos sanguíneos. En nuestros días la sangre de un donante es clasificada según su grupo y separada en sus componentes. Los bancos de sangre conservan los distintos componentes de la sangre para fines diversos. El *plasma*, es decir, el líquido amarillento en el cual están suspendidas las células de la sangre, es el componente más fácilmente conservable; liofilizado puede conservarse durante cinco años, y no hay necesidad de clasificarlo según el grupo. Las *plaquetas* (necesarias para la coagulación), los *glóbulos rojos* (que se utilizan para curar algunos casos de anemia o de falta de hierro) y también algunas proteínas del plasma, como el *fibrinógeno* (que desempeña un papel esencial en la coagulación), pueden ser almacenados y ulteriormente utilizados.

Cada banco de sangre está unido, para su abastecimiento, a uno o varios "centros de recogida", donde es extraída la sangre de los donantes. Estos centros pueden ser fijos o móviles, es decir, constituidos por vehículos adecuadamente dotados. Sólo pueden donar sangre las personas sanas, en buenas condiciones generales, de peso no inferior a 50 kg y comprendidas entre los 18 y 65 años de edad.

Bancos de semen El semen para las fecundaciones artificiales se recoge en los bancos de semen y procede generalmente de donantes anónimos. Una muestra diluida en agua se coloca en un contenedor de vidrio y se analiza al microscopio para efectuar el recuento de los espermatozoides, observar su motilidad, el porcentaje de espermatozoides malformados, etcétera.

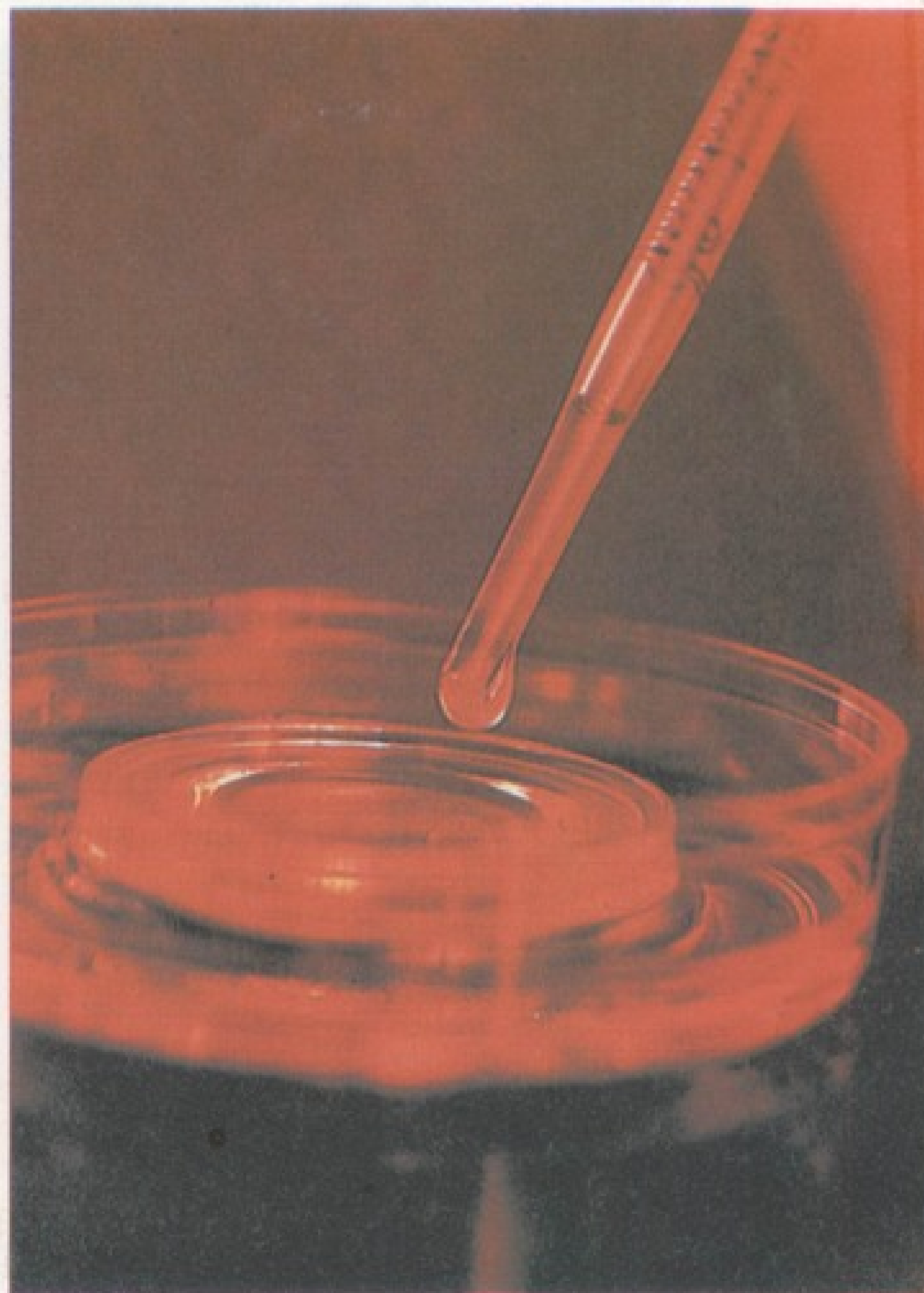
Si el número de espermatozoides es normal, el semen se conserva en un contenedor de nitrógeno líquido que lo congela hasta el momento de su utilización. No todos los bancos de semen se sirven sólo de donantes anónimos; algunos conservan el semen de hombres que se han sometido a vasectomía, pero que desean mantener así la posibilidad de procrear posteriormente.

Bancos de órganos Desgraciadamente, la conservación de órganos como los riñones o el corazón es mucho más problemática que la conservación de la sangre, el semen o la córnea. El corazón y los pulmones se deterioran entre los 30 y los 40 minutos después del fallecimiento, y los riñones, de los 50 a 100 minutos. Un riñón puede ser conservado al vacío en una celda frigorífica o en hielo de 8 a 12 horas, pero conservar un riñón durante un período de tiempo más largo, de 12 a 72 horas, requiere un equipo complejo que haga circular por el interior del órgano soluciones fisiológicas a baja temperatura y de composición similar a la sangre. Es de esperar que algún día las dificultades inherentes al trasplante de órganos sean superadas.

Véase **Fecundación e inseminación artificial; Ojo; Sangre y grupos sanguíneos; Transfusión sanguínea; Trasplante de órganos**

Para la realización de la fecundación *in vitro* tiene una gran importancia la elección de elementos celulares perfectamente normales. El control (que aparece en las fotografías bajo estas líneas) se realiza a través de un examen al microscopio. A continuación el semen obtenido del donante (anónimo o no) se añade (fotografía de la derecha) al recipiente que contiene la célula huevo.





Organos artificiales

Los órganos artificiales se encuentran entre las innovaciones más importantes de la ciencia médica. A primera vista puede parecer fácil la sustitución de un órgano viviente por un aparato artificial, pero en la realidad esto es mucho más complicado. Los órganos naturales son al mismo tiempo increíblemente complejos y compactos. Incluso si fuera posible reproducir las funciones de un órgano sano mediante un instrumento de reducidas dimensiones, no existiría la seguridad de que el organismo lo aceptase.

El sistema inmunitario del organismo rechaza los cuerpos que le son extraños. Este rechazo está provocado por el mismo mecanismo que combate las enfermedades destruyendo las bacterias. Todos los intentos de eliminar este rechazo mediante la administración de fármacos podrían ser muy peligrosos dado que al disminuir las defensas inmunitarias se podrían producir infecciones mortales.

De este modo, los diseñadores de órganos artificiales deben crear aparatos complejos, compactos, con materiales —generalmente plásticos— suficientemente inocuos, capaces de "engañar" al sistema inmunitario del organismo siendo biológicamente "invisibles". Por otra parte, estos aparatos deben ser absolutamente fiables y seguros, capaces de funcionar en el ambiente cálido y húmedo del cuerpo humano, un ambiente poco adecuado para instrumentos técnicos.

Además de los órganos artificiales propiamente dichos que sustituyen las partes internas de importancia vital, la tecnología biomédica está poniendo a punto prótesis sustitutivas de los miembros que se valen de las más recientes innovaciones en la miniaturización electrónica, especialmente en lo referente a la mano artificial.



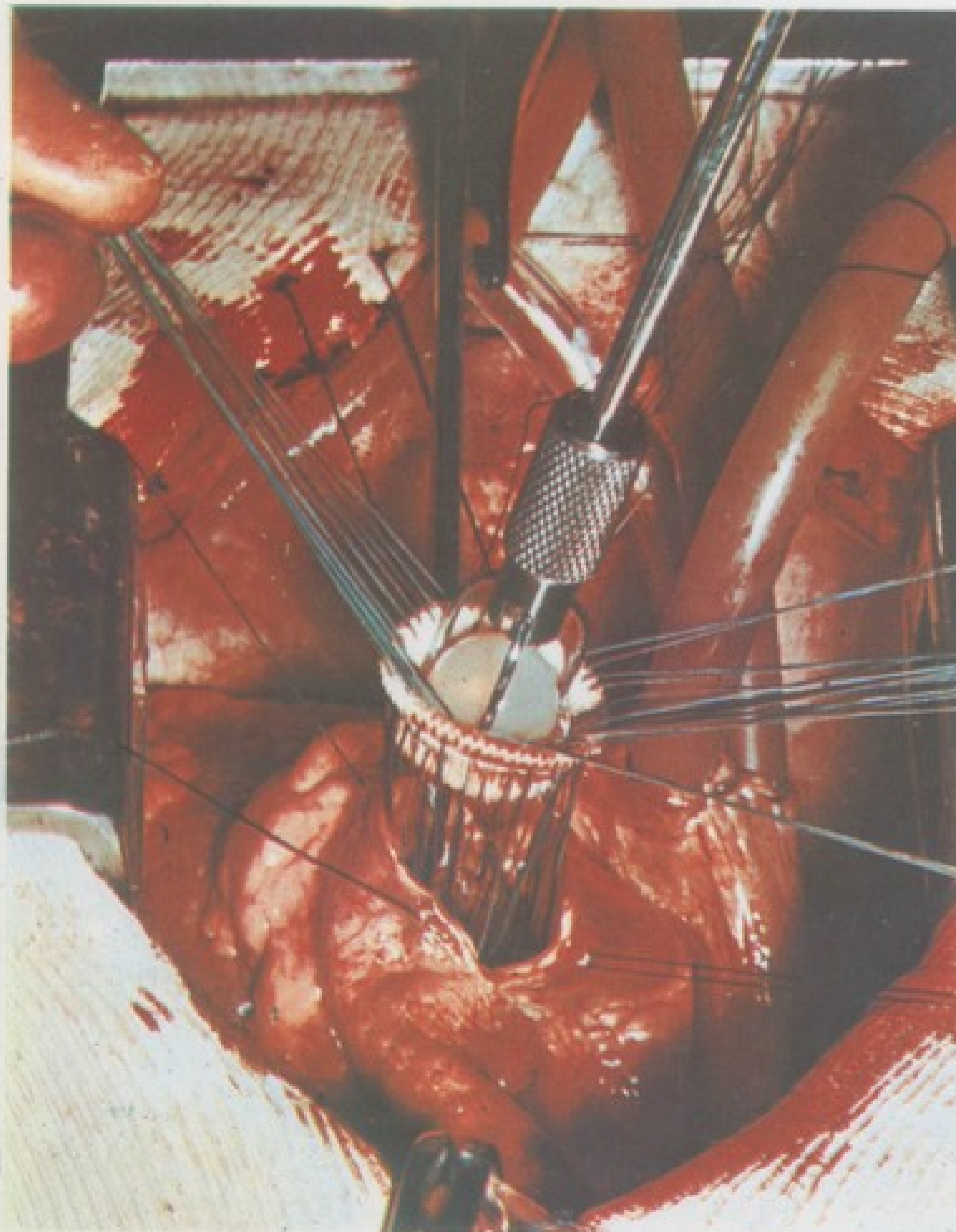
Arriba, un modelo de corazón artificial total de sistema fluido y, abajo (a la derecha) su esquema de funcionamiento. Se aprecian las dos aperturas en megáfono para insertar en las aurículas derecha e izquierda los tubos de dacrón para la unión con la aorta y la arteria pulmonar. La unidad central es un cuerpo cilíndrico hueco provisto de válvulas en diafragma y de dos unidades de bombeo, controlado por un circuito y una batería; el motor para el bombeo va insertado en el tórax.

LA VALVULA DE STARR

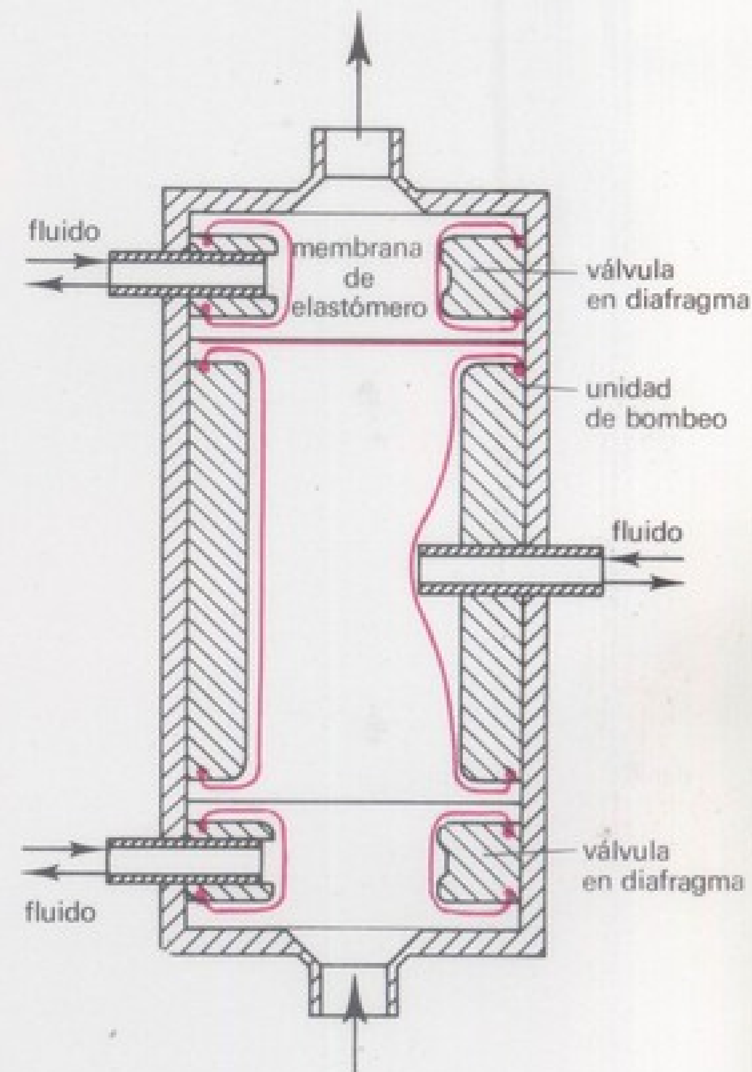


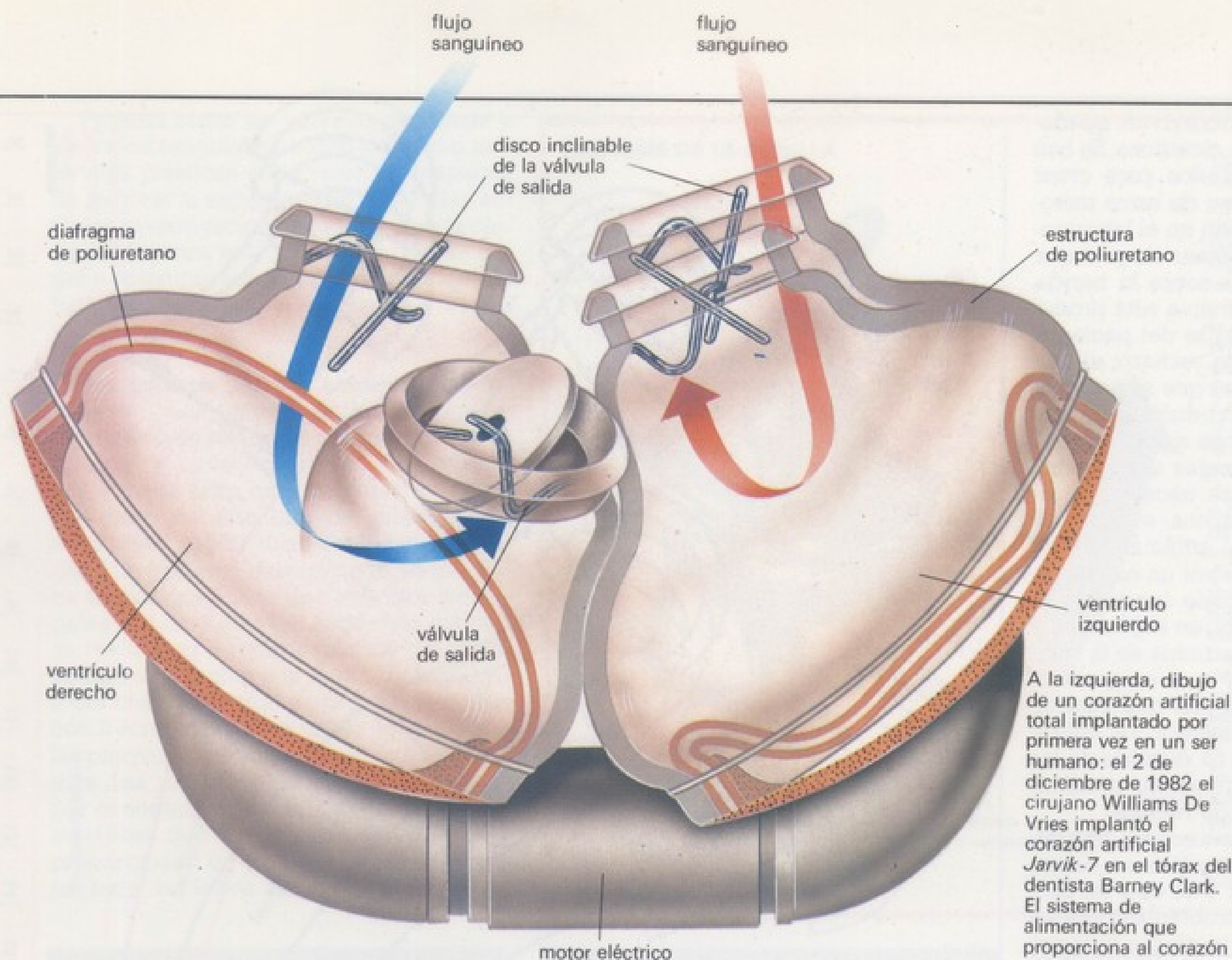
La prótesis valvular de Starr se utiliza para sustituir totalmente el aparato valvular mitral que pone en comunicación la aurícula y el ventrículo izquierdos. Tiene unas dimensiones de aproximadamente tres centímetros y medio de diámetro y se considera la mejor prótesis por su facilidad de aplicación y su tolerancia.

Organos artificiales para trasplantes: corazón, páncreas y laringe El típico corazón artificial experimental está constituido



La válvula mitral o bicúspide pone en comunicación unidireccional el ventrículo y la aurícula izquierdos. En la estenosis mitral tiene lugar un defecto de apertura de la válvula mitral durante la diástole, es decir, cuando la sangre de la aurícula debe fluir hacia el ventrículo. Se produce por lo tanto una dificultad para que la sangre auricular alcance el ventrículo. Cuando las hojas valvulares están irreversiblemente alteradas, no permitiendo una intervención de tipo reconstructivo, se procede a una intervención sustitutiva, utilizando válvulas artificiales, como la válvula de Starr. A la izquierda, el momento más delicado de la intervención: la válvula se hace deslizar a través de los hilos que se han fijado previamente al anillo mitral de Carpenter, estructura metálica revestida de teflón. Los hilos que han permitido el deslizamiento de la válvula hasta su lugar de implantación son posteriormente anudados y se comprueba que el movimiento de la bola no se ha obstaculizado.





A la izquierda, dibujo de un corazón artificial total implantado por primera vez en un ser humano: el 2 de diciembre de 1982 el cirujano Williams De Vries implantó el corazón artificial *Jarvik-7* en el tórax del dentista Barney Clark. El sistema de alimentación que proporciona al corazón la energía necesaria para la operación de bombeo de la sangre es externo y ello constituye la limitación técnica más importante que el corazón artificial debe afrontar. Los dos ventrículos del corazón *Jarvik-7* están fabricados de poliuretano y sostenidos en bases de aluminio. El motor eléctrico está dispuesto simétricamente bajo los dos ventrículos, mientras que las dos aurículas se conservan del corazón natural. Entre los ventrículos artificiales y las aurículas naturales se colocan las válvulas de disco basculable tapadas por anillos de policarbonato. Acoplada a la centralita de energía externa existe una centralita electrónica de regulación que permite el incremento o la disminución de la fuerza de contracción del corazón, en relación con el aumento o disminución del retorno de sangre venosa.

por una bomba y por una fuente de energía exterior, por un tubo de transmisión neumática para conducir aire comprimido a una cavidad cardiaca artificial insertada en el tórax del paciente y por hilos unidos a unos sensores situados en otra bomba, que también se encuentra insertada en el tórax del paciente y que se encarga de controlar el latido cardiaco y de detectar posibles anomalías. Dicha bomba está constituida por dos membranas de plástico con forma esférica, denominadas *diafragmas*, una dentro de la otra; estos diafragmas están unidos mediante válvulas a los vasos sanguíneos que llevan la sangre desde y hacia el corazón. El diafragma interno, o "cámara de sangre", está rodeado por una cámara de aire que impulsa la sangre fuera de la cámara interna en el momento en que la bomba externa envía un impulso de aire comprimido. Este ciclo se repite entre 60 y 120 veces por minuto, de manera similar a la acción de bombeo de un corazón natural. Los animales en los que se ha experimentado este corazón completamente artificial mueren generalmente en el primer año después de la intervención, con frecuencia a causa de infecciones, trombosis en distintos vasos o formaciones de tejido en torno a los diafragmas, que bloquean el flujo sanguíneo. Existen, no obstante, grandes perspectivas de progreso. El primer trasplante de un corazón artificial fue realizado en diciembre de 1982 en Salt Lake City (Estados Unidos).

El marcapasos puede ser considerado un corazón artificial parcial. Este aparato sustituye en el corazón al tejido de conducción lesionado, dando origen a impulsos eléctricos intermitentes que provocan regularmente el latido cardiaco.

En los pacientes que sufren diabetes, las células del páncreas endocrino no producen suficiente insulina, lo cual provoca graves insuficiencias en las capacidades del organismo para transformar y almacenar sustancias nutritivas, en particular los hidratos de carbono. Un páncreas endocrino sano es capaz de detectar el incremento de la concentración de glucosa que se produce en la sangre después de la ingestión de los alimentos y de segregar una cantidad de insulina suficiente para metabolizar esa glucosa. Tanto una cantidad excesiva como una cantidad insuficiente de glucosa en la sangre pueden conducir al coma y a la muerte. La terapéutica de la diabetes, generalmente, consiste en la administración más o menos frecuente de insulina mediante inyecciones. Este tratamiento, que es preciso realizar durante toda la vida, conlleva obviamente multitud de inconvenientes. Por este motivo, el trasplante experimental de un sistema capaz de introducir en la sangre cantidades adecuadas de insulina, lo que se denomina un *páncreas artificial*, sería deseable en los pacientes diabéticos. Dicho sistema está constituido por un depósito de plástico que contiene insulina, por una bomba dotada de controles electrónicos, por baterías, todo ello envuelto en un armazón de plástico, y por tubos adecuados que unen el depósito a la bomba y la bomba a los vasos sanguíneos. Este instrumento es trasplantado quirúrgicamente al paciente; el depósito de insulina puede ser rellenado a través de una apertura que atraviese la piel. Otro aparato electrónico externo puede ser empleado para controlar la cantidad de insulina inyectada después de las comidas, que depende de la cantidad de hidratos de carbono consumida. La realización e incorporación de un aparato que mida de modo fiable la concentración de glucosa en la sangre hará automático este proceso, asemejándolo más al funcionamiento de un páncreas normal. Si bien el páncreas artificial presenta los mismos problemas comunes al resto de los órganos artificiales, estos problemas son bastante menos graves que los que presenta, por ejemplo, el corazón artificial.

La laringe artificial experimental permite a los pacientes a los que se ha extirpado la laringe (generalmente a causa de un tumor) hablar de una manera casi normal. Una laringe sana vibra de manera que produce un sonido constante que, modificado por la boca, por la lengua y por los labios, se transforma en palabras. La laringe experimental, una especie de altavoz insertado en una cavidad de la garganta, produce, con su vibración, un sonido de base similar al que origina la laringe natural. Ese sonido también puede ser modificado para producir palabras comprensibles.

Otros órganos: piel, sangre La piel desempeña distintas funciones, entre ellas la de servir de aislamiento y contención de los líquidos del interior del organismo y de protección contra microorganismos patógenos. Las personas gravemente quemadas, por ejemplo, pueden morir por deshidratación o por infecciones causadas por la pérdida de la barrera que su-

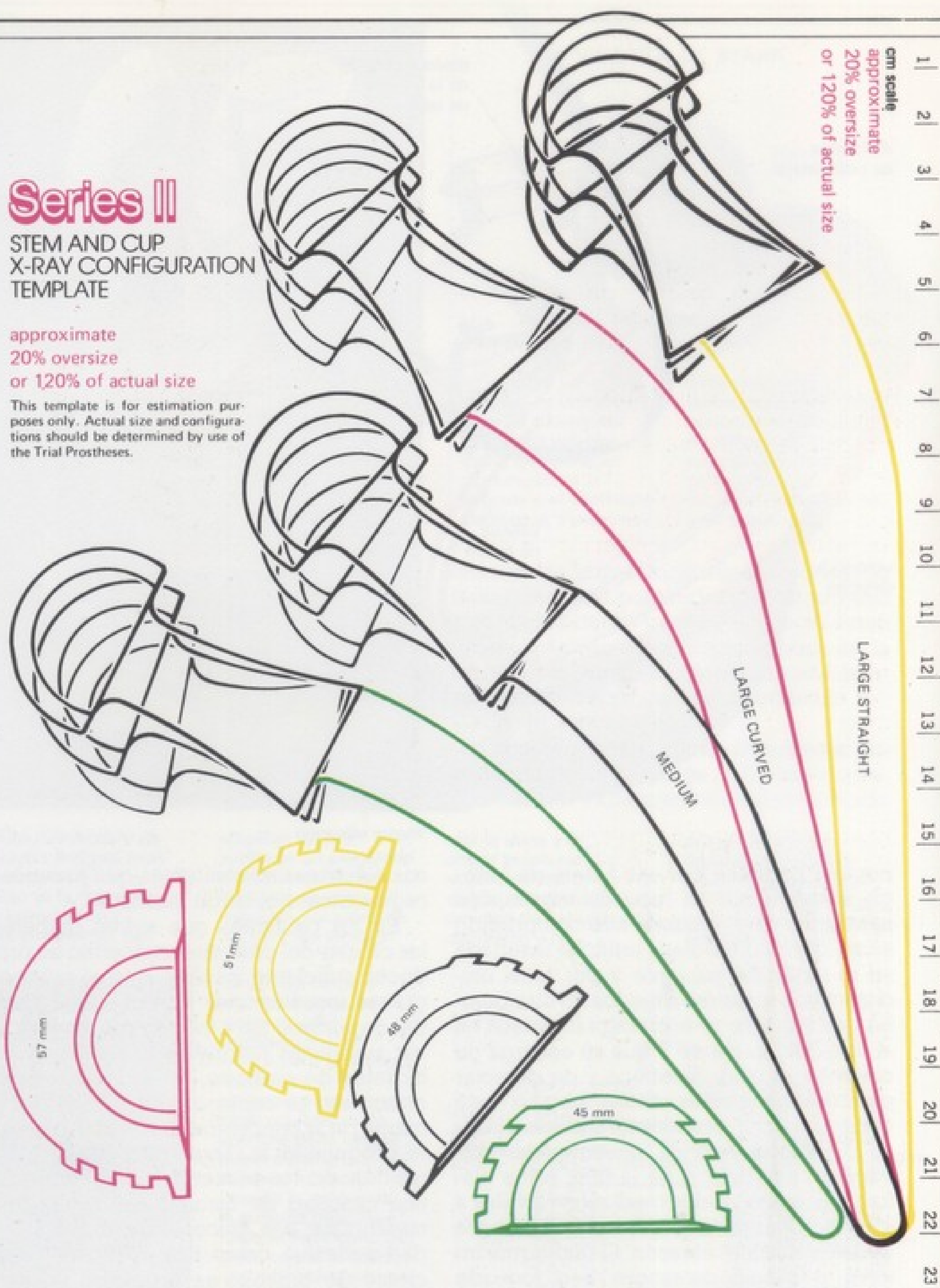
pone la piel. Incluso si sobreviven, quedarán desfigurados por las cicatrices. Se han desarrollado varios métodos para crear una piel artificial. Con uno de estos métodos, las células se cultivan en el laboratorio hasta que formen láminas de piel que puedan ser depositadas sobre la herida. Dado que esta piel sustitutiva está producida por las propias células del paciente, no existen problemas de rechazo; el único problema relevante es que se necesita cerca de un mes para producir una lámina de piel de dimensiones significativas.

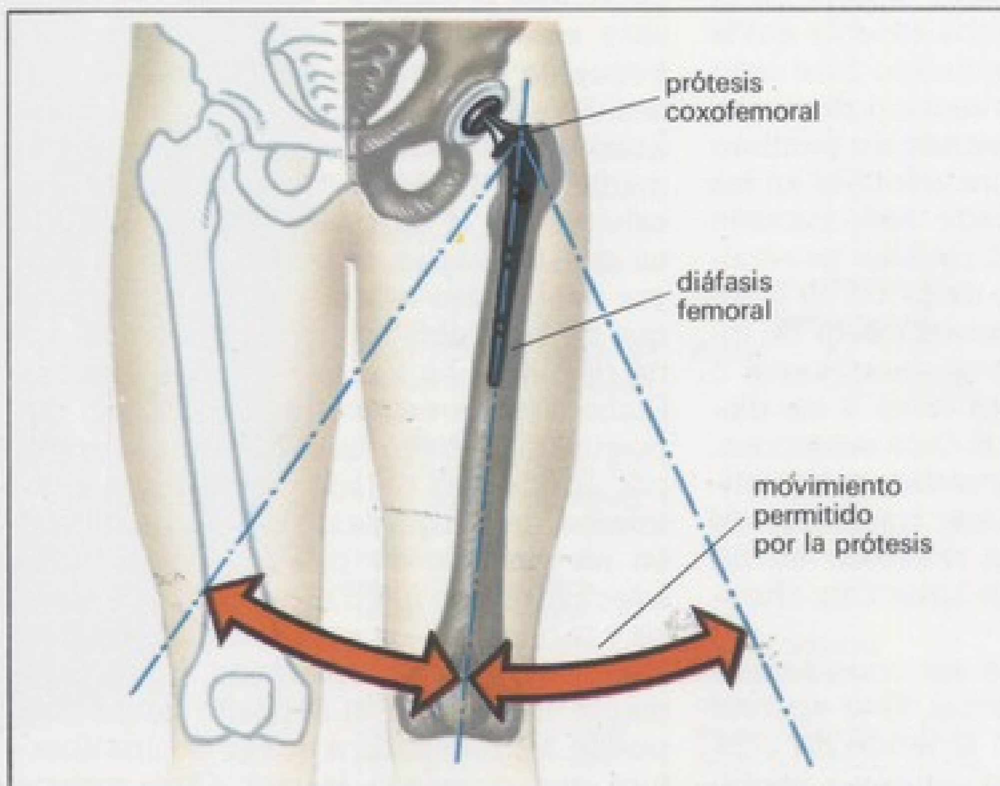
En los casos de pacientes con quemaduras muy extensas que necesitan trasplantes cutáneos inmediatos, es más seguro el empleo de piel artificial. La piel artificial está constituida por un estrato de colágeno animal purificado (un tejido fibroso presente en la piel, en los huesos y en los cartílagos) que participa en la cicatrización de la herida y que es gradualmente absorbido por la piel que está cicatrizando en la parte inferior. La utilización de la piel artificial ha disminuido las infecciones y las cicatrices sin producir problemas importantes de rechazo.

Para un paciente que necesita transfusiones de sangre, no siempre se tienen disponibles la cantidad y el tipo de sangre necesarios. Estos problemas podrían ser resueltos mediante la sangre artificial. Una de las principales funciones de la sangre es la de transportar el oxígeno a los tejidos y eliminar de los mismos el dióxido de carbono. Los polifluorurados, compuestos sintéticos químicamente similares al teflón y al freón (gas utilizado en los frigoríficos y en los acondicionadores de aire), desempeñan muy bien estas funciones. Aunque presentan algunos efectos colaterales graves, los polifluorurados son una probable solución al problema de la sustitución de la sangre.

Las prótesis sustitutivas Un miembro artificial es un instrumento mecánico que sustituye a una parte del organismo perdida por alguna lesión, ya sea un brazo o una pierna. Las prótesis no sólo deben garantizar el reemplazamiento del soporte esquelético y de la funcionalidad, sino que también deben satisfacer ciertas exigencias estéticas. Un miembro artificial llega a ser necesario cuando se produce la pérdida de una extremidad como consecuencia de un accidente traumático o como resultado de una extirpación quirúrgica por trastornos no superables de la circulación o de cualquier otro tipo, como sucede frecuentemente en los pacientes ancianos. El desarrollo histórico de las prótesis artificiales está asociado estrechamente a los conflictos bélicos, desde el momento en que un gran número de amputaciones es debido a heridas de guerra.

Los miembros artificiales no son máquinas que salven o prolonguen la vida, pero indudablemente permiten una mayor gama de movimientos y de actividades, todo lo cual comporta, para el paciente afectado, notables ventajas desde el punto de vista psicológico.





Arriba, una ságoma de acetato transparente sobre la que se han dibujado los contornos de prótesis de cadera de distinto tamaño La ságoma se utiliza sobre la base de una imagen radiográfica que permite calcular las dimensiones de la prótesis. Más abajo, los contornos de distintos revestimientos de la cabeza femoral, cada uno de los cuales es adaptable a las cabezas correspondientes del fémur artificial. A la izquierda, amplitud de los movimientos permitidos por la inserción de una prótesis a nivel de la articulación coxofemoral.

Prótesis como las válvulas cardiacas y los vasos sanguíneos construidos con materiales plásticos especiales son capaces de mejorar la esperanza de vida, y las actuales investigaciones indican que prótesis de órganos muy delicados podrán llegar a restaurar, al menos parcialmente, las funciones visuales en los ciegos y auditivas en los sordos.

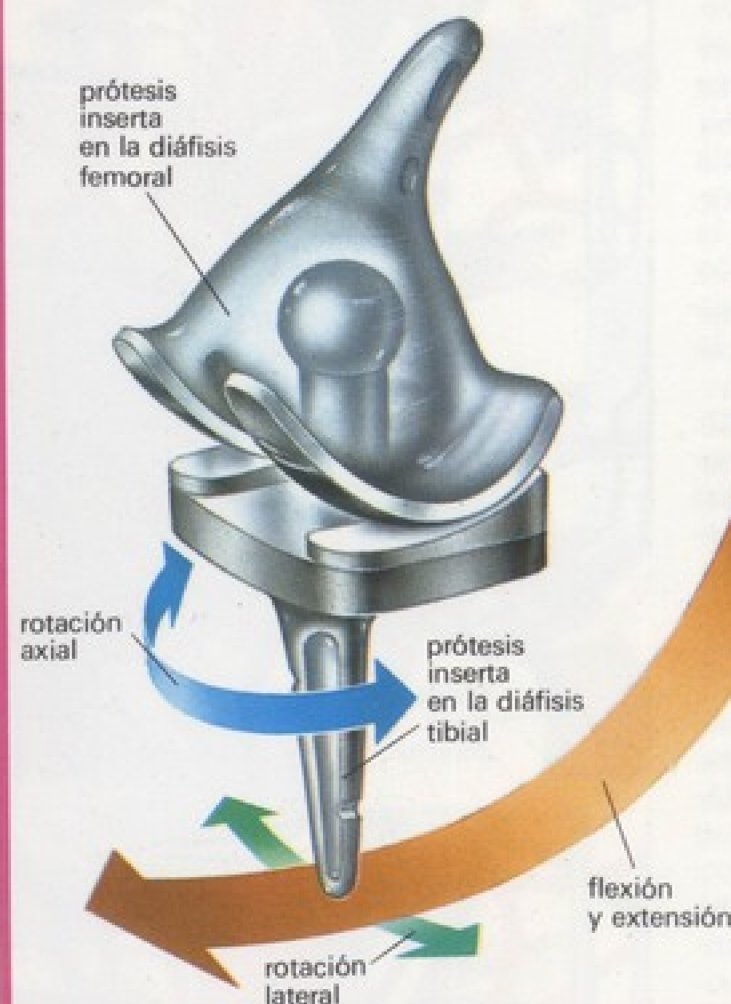
Las prótesis de las extremidades inferiores Las prótesis de las extremidades inferiores restauran la capacidad para caminar y constituyen para el paciente una ventaja física muy importante. La mayor parte de este tipo de prótesis está construida según unas medidas adaptadas a un paciente determinado. La moderna tecnología utiliza dos métodos principales. Las unidades del esqueleto externo se realizan con recubrimientos de plástico que se adaptan a la forma de la pierna o del brazo; este tipo de prótesis se utiliza con frecuencia para sustituir los brazos o las piernas por debajo del codo o de la rodilla. Las unidades del esqueleto interno, por el contrario, se construyen con barras metálicas que funcionan como huesos y proporcionan un mayor soporte estructural; para dar forma adecuada al miembro, puede emplearse una cobertura hecha a base de goma-espuma.

Los miembros artificiales por debajo de la rodilla están frecuentemente realizados con un recubrimiento de plástico de larga duración. De este modo se puede obtener una perfecta adherencia al muñón, con lo que la prótesis permanece en su lugar simplemente gracias a su forma. Raramente las prótesis por debajo de la rodilla se mantienen en su lugar mediante una correa atada por encima de la rodilla.

El pie artificial se construye habitualmente en poliuretano, con distintas gradaciones de dureza para garantizar resistencia y flexibilidad, y está provisto de una carena de madera dura para garantizar la necesaria estabilidad.

Prótesis por encima de la rodilla Las prótesis por encima de la rodilla son más

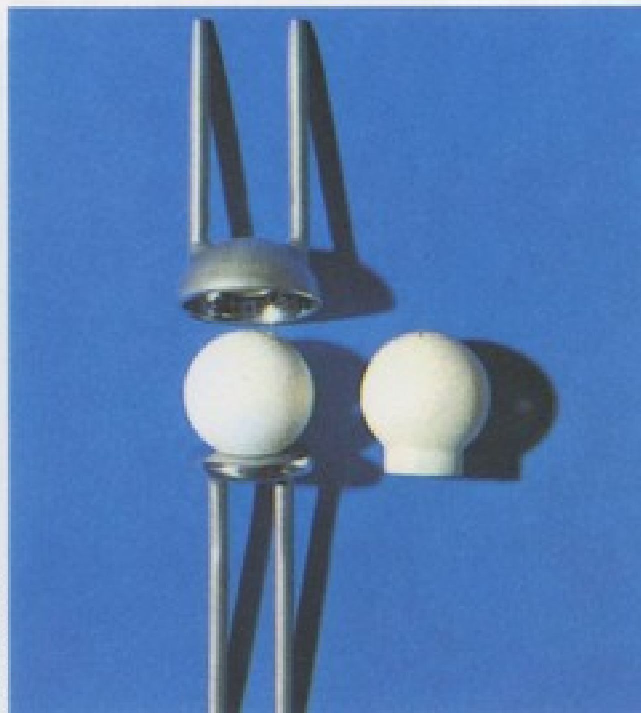
PROTESIS DE LA RODILLA



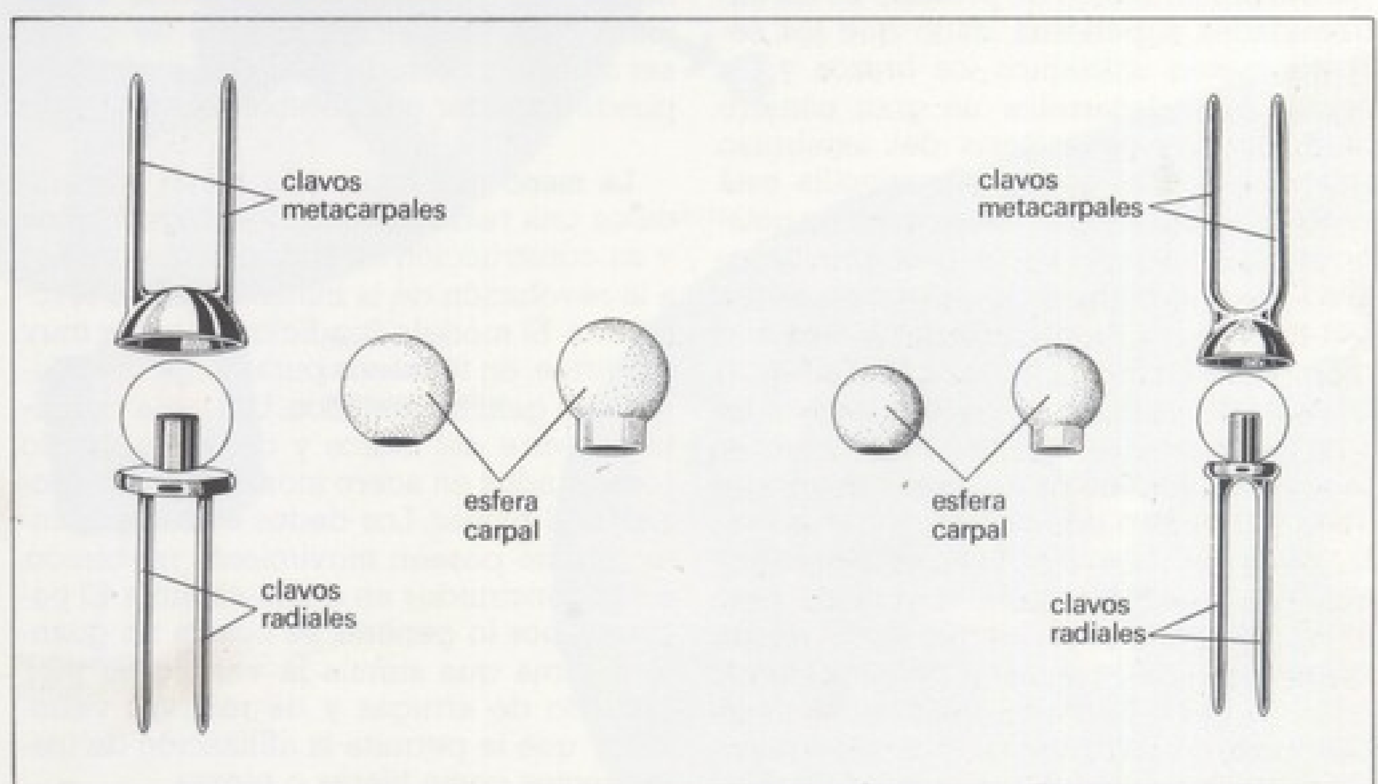
La tecnología de las prótesis ha alcanzado tal punto que permite la sustitución integral de articulaciones muy complejas, como la de la rodilla. Como puede observarse, la articulación artificial permite una amplia movilidad en la dirección del movimiento principal y una buena movilidad en las direcciones de los movimientos colaterales y de torsión. Como es lógico, la rodilla artificial —que, como la mayor parte de las grandes prótesis, está construida de metal, acero inoxidable o mediante una aleación de cobalto y cromo y con superficies de contacto de polietileno de alto peso molecular— presenta prestaciones afectas de una cierta rigidez que no pueden compararse con la plasticidad de los movimientos naturales; sin embargo, garantiza la reutilización de una articulación fundamental. Estructuralmente, la parte superior se inserta en la diáfisis del fémur, sustituyendo los cóndilos articulares, y la porción inferior se inserta en la tibia, sustituyendo la extremidad superior de este hueso.



Comesa. Milán



La articulación de la muñeca está compuesta de modo natural por dos dispositivos óseos que contienen numerosos huesos: el carpo y el metacarpo. La articulación permite un movimiento rotatorio, hacia delante y hacia atrás, en todos los puntos del recorrido articular. Esto conduce a la idea de la alta complejidad de un dispositivo articular artificial, que sólo se realiza bien mediante una esfera de metal dotada de un revestimiento y de una base. Del revestimiento salen dos clavos que permiten la fijación de la articulación dentro de los huesos del metacarpo, y de la base salen otros tantos clavos que van a fijarse en la apófisis radial. En las dos fotografías de la izquierda, prótesis articular inserta entre la mano y el antebrazo y detalle de la prótesis. Abajo, toda la serie de componentes necesarios para la construcción del dispositivo articular. Pueden observarse las dimensiones de los componentes, de los clavos y de las esferas que representan el núcleo funcional de la articulación.



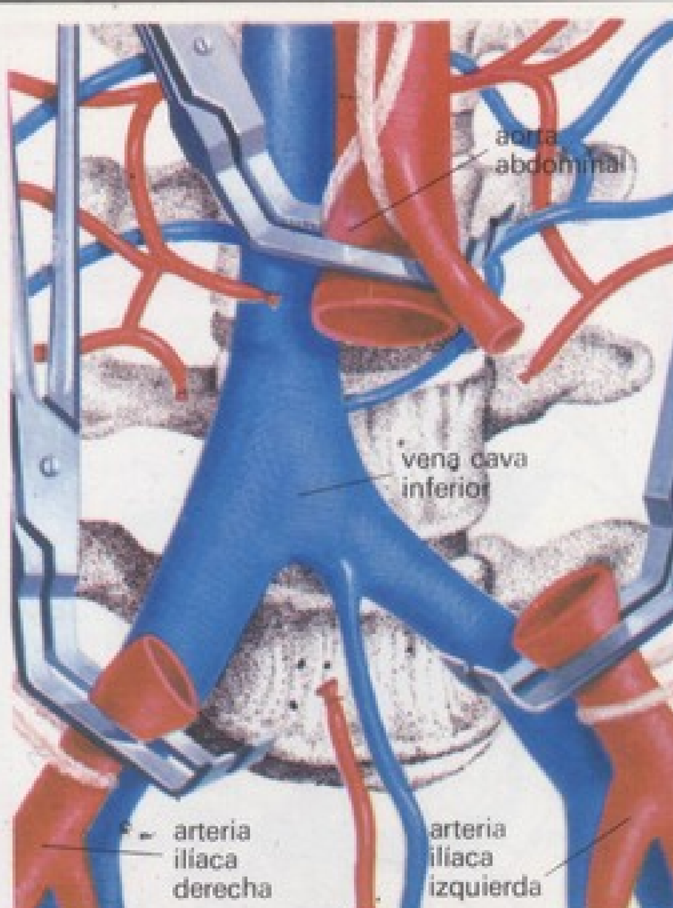
complejas. Habitualmente siguen el método de construcción endosquelética. La prótesis puede permanecer en su lugar unida al muñón por una correa o, más frecuentemente, mediante aspiración. Ello se realiza utilizando una especie de calza que reviste la prótesis inserta en el acetábulo femoral. Tirando hacia abajo y hacia fuera de la calza, el aire es obligado a salir a través de una pequeña válvula y la prótesis se adhiere a su punto de unión como en una cámara de vacío. La válvula se cierra posteriormente para garantizar la adhesión permanente.

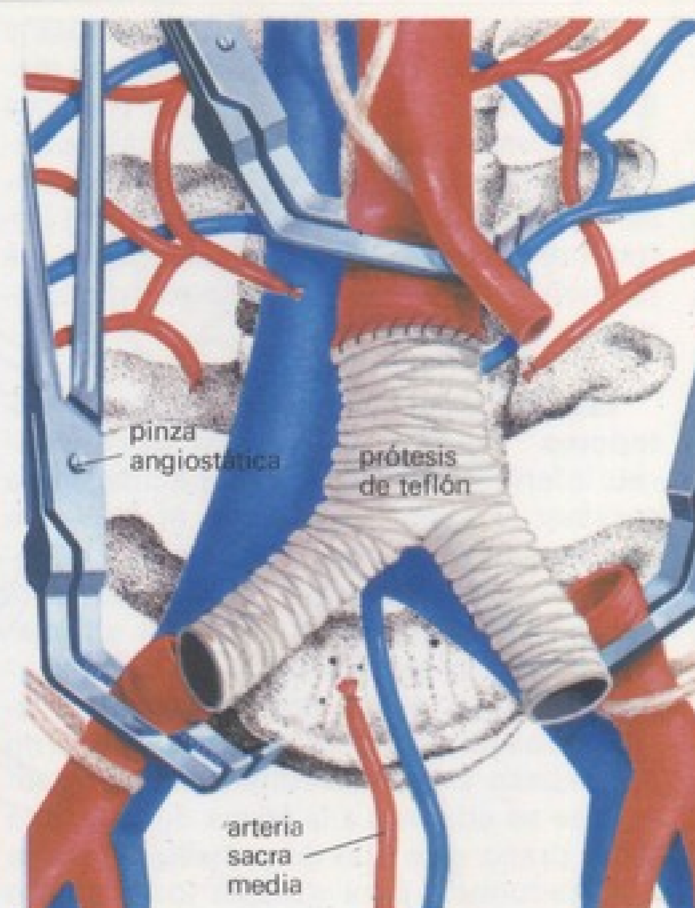
Los ingenieros de prótesis han desarrollado distintos tipos de rodillas mecánicas que permiten a una persona caminar sin temor a las deformaciones de la articulación como consecuencia de malas caídas. La más simple de estas prótesis consiste en una rodilla que puede ser fijada manualmente en la posición de extensión para permitir la deambulación y que puede posteriormente reajustarse para la posición sentada. Otras articulaciones metálicas poseen fricciones de seguridad que se activan mediante variaciones de peso: cuando sobre la articulación mecánica se ejerce un peso excesivo durante la deambulación, ésta se bloquea automáticamente para impedir la caída.

Los más recientes proyectos de rodilla mecánica permiten distintos grados de libertad de movimiento. Entre las realizaciones más sofisticadas se encuentra la del Hospital Ortopédico de Copenhague, que está dotada de un mecanismo hidráulico para controlar el grado de amplitud del movimiento de la articulación, proporcionando de este modo una mayor estabilidad y una marcha más regular. El control hidráulico funciona como los mecanismos de cierre que con frecuencia se observan en las puertas de cierre automático. El movimiento es regular y suave si la puerta se cierra por sí misma, pero opone una notable resistencia si se la intenta cerrar a mayor velocidad.

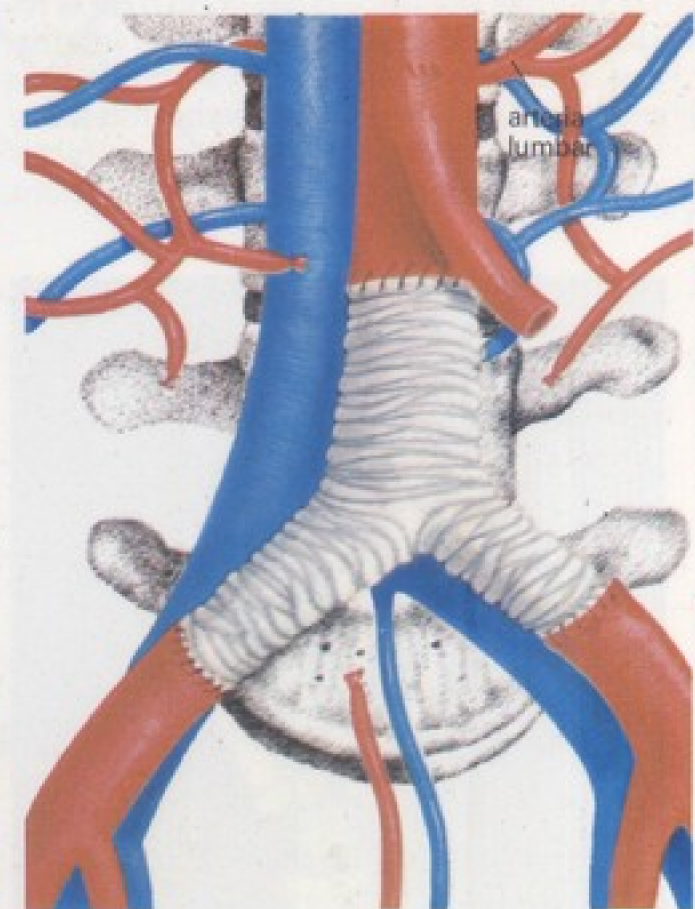
Extremidades superiores Los ingenieros han realizado grandes esfuerzos para la construcción de prótesis de las extremidades superiores, dado que los seres humanos utilizamos los brazos y las manos para desarrollar un gran número de funciones. La prótesis del antebrazo (por debajo del codo) más sencilla está conformada por un recubrimiento de plástico mantenido en su lugar por unos arneses fijados al hombro. El antebrazo se fija por medio de una muñeca metálica a una mano artificial o a un gancho. Mediante un cordón procedente de los arneses del hombro, el paciente puede abrir y cerrar la mano (por ejemplo, alzando el hombro). También se han dedicado muchas investigaciones a la construcción de una mano artificial. El gancho metálico es ciertamente el instrumento más simple y más eficaz como sustituto de la mano; muchas personas que han sufrido una amputación de la mano llevan un gancho para desarrollar las normales actividades cotidianas, aunque en otros momentos de la vida social lleven una prótesis más parecida a una mano real. El gancho, además de poder ser abierto y cerrado mediante un cordón, puede soportar una notable carga.

La mano mecánica La mano mecánica es una realización de los últimos años y su construcción ha sido posible gracias a la revolución de la miniaturización electrónica. El modelo "tradicional" no es muy diferente, en términos puramente mecánicos, del gancho metálico. Un cable permite el cierre del índice y del dedo medio (construidos en acero inoxidable) en oposición al pulgar. Los dedos cuarto y quinto, que no poseen movimiento mecánico, están construidos en goma-espuma. El paciente, por lo general, se coloca un guante encima que simula la verdadera piel, provisto de arrugas y de relieves venosos, y que le permite la utilización de instrumentos como tijeras o pinzas.

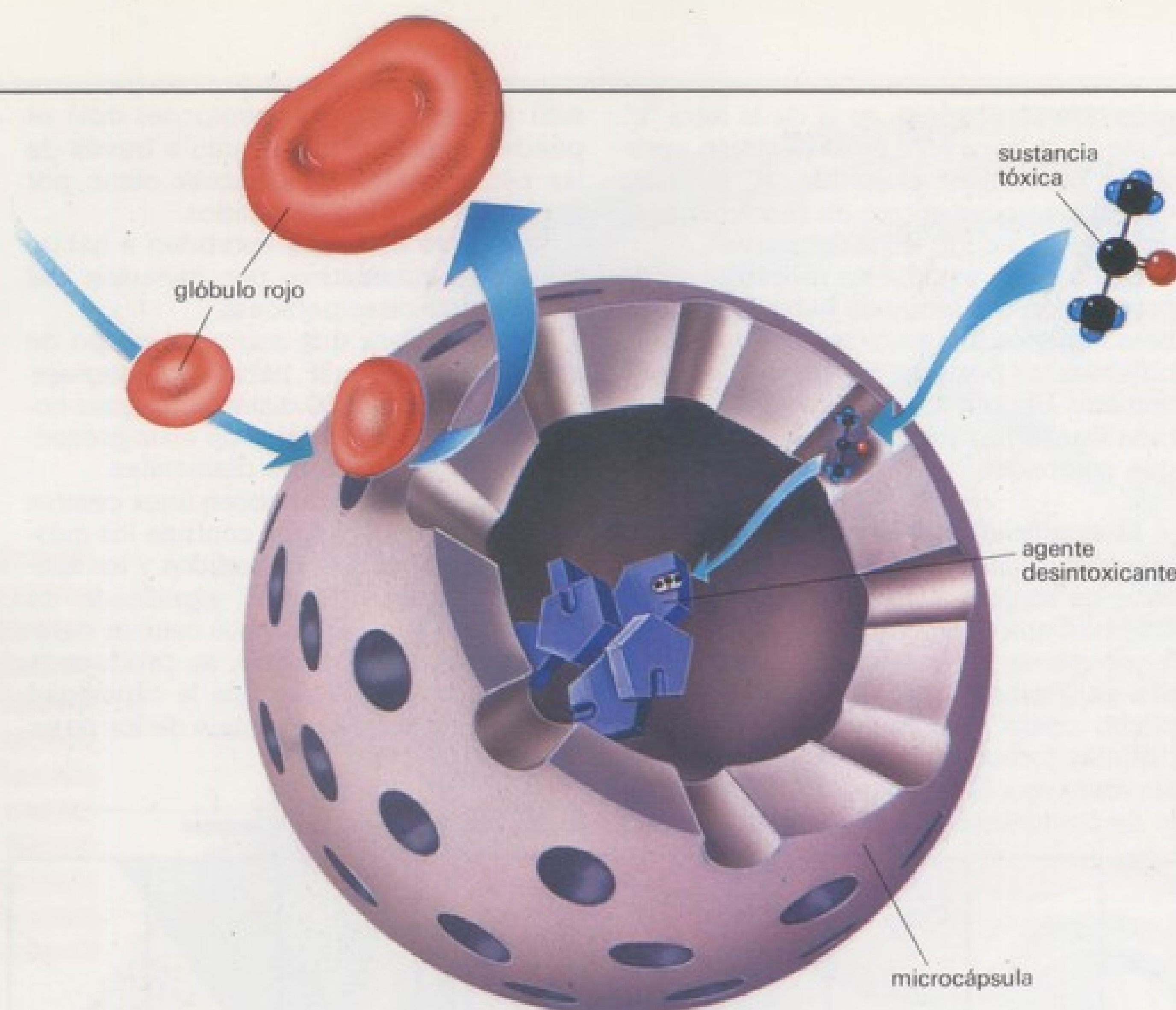








Arriba, secuencia fundamental de una intervención quirúrgica de sustitución de un tracto de aorta abdominal afecto por un aneurisma. La intervención ha sido posible gracias a la disponibilidad de materiales sintéticos de origen plástico, como el teflón. El teflón es un derivado del tetra-fluoretileno; posee excepcionales propiedades mecánicas y químicas y su particular inercia lo hace muy apto para la construcción de prótesis biológicas. Es claro que el problema a afrontar es la eventual respuesta del organismo frente a la introducción de un material extraño. Por otra parte, la maniobrabilidad del teflón permite obtener superficies extremadamente lisas, capaces de reducir al mínimo el peligro de formación de coágulos por fricción mecánica. La secuencia de las figuras muestra la inserción de una prótesis de teflón en el punto de ramificación de la aorta abdominal en las arterias ilíacas derecha e izquierda. Arriba se observa, a la izquierda, el trozo de aorta que falta tras la extirpación del aneurisma y, a la derecha, la inserción en la aorta descendente. Debajo, inserción de la prótesis en los extremos de las arterias ilíacas y, a la derecha, intervención finalizada.



El aspecto actual más significativo de las prótesis del miembro superior es la mioelectricidad. La contracción muscular, y por lo tanto el movimiento, son el resultado de impulsos eléctricos nerviosos procedentes del cerebro. Hoy en día es posible utilizar estos impulsos mediante electrodos fijados en el recubrimiento plástico.

En el brazo mioeléctrico estándar, los impulsos eléctricos son amplificados aproximadamente 50.000 veces y activan una pequeña batería (generalmente de 6 voltios) que alimenta a un minúsculo motor. Un pequeño ordenador bioelectrónico unido al motor puede interpretar los impulsos de llegada y elaborar el movimiento correcto. Aquellos que además del antebrazo han perdido igualmente el brazo y el hombro pueden utilizar también el miembro mioeléctrico: los electrodos simplemente son conectados a nivel de los músculos del dorso y la contracción de estos músculos es suficiente para alimentar el motor de la prótesis.

Véase **Bioingeniería**

contenido
acuoso,
proteico
y enzimático

sustrato

sustrato
transformado

antígeno

linfocito

membrana
polimérica
semipermeable

anticuerpos
antienzimas

La disponibilidad de nuevos materiales sintéticos dotados de inercia biológica, y, por lo tanto, desprovistos de una actividad antigénica que determinaría una respuesta agresiva por parte de los tejidos con los que entrarán en contacto, ha permitido el proyecto y la experimentación ↓

↓ de orgánulos sintéticos capaces de intervenir en algunas situaciones patológicas que de otra manera serían inmodificables. Un ejemplo entre los más interesantes lo constituye la disponibilidad de microcápsulas como las ilustradas en el dibujo. Arriba vemos una microcápsula cuya pared polimérica está dotada de numerosos poros. Introducida en la circulación sanguínea, la microcápsula, que tiene dimensiones similares a las de una célula, permite que una sustancia intoxicante eventualmente presente penetre a través de los poros y se combine con un agente desintoxicante →

→ contenido en la cápsula, que lo neutraliza. Los poros tienen un diámetro tal que no permiten la entrada en la cápsula de sustancias o componentes normales de la sangre, como los glóbulos rojos. En el dibujo de la parte inferior, por el contrario, la cápsula contiene enzimas necesarios para los procesos metabólicos. A través de los poros penetran en la cápsula las moléculas sustrato de un determinado proceso, que es modificado por la acción del enzima. El enzima, de este modo, resulta protegido contra la agresión de los anticuerpos circulantes y de los linfocitos, demasiado voluminosos como para penetrar en la cápsula.

Organos de fonación

Las aves, los lobos, las ballenas y los delfines se comunican entre sí emitiendo unos sonidos especiales; las abejas, por su parte, son capaces de intercambiar información acerca de la distancia y dirección de las zonas ricas en polen o en agua por medio de complejas evoluciones en el aire.

El lenguaje es, sin embargo, una de las prerrogativas más típicamente humanas, por medio de la cual expresamos ideas abstractas en forma perceptible.

Acústica y lenguaje Los distintos idiomas existentes presentan diferencias fonéticas relativamente escasas, dado que el aparato vocal de todos los hombres es idéntico. Los sonidos son producidos por las cuerdas vocales, la lengua, los labios y las cavidades nasales, y cada uno de estos componentes puede impartir al sonido una modulación particular. Estos sonidos son luego percibidos por la membrana del tímpano, que por lo general es capaz de oír toda la gama de producciones fonéticas.

La potencia sonora del lenguaje hablado o cantidad de energía acústica emitida en la unidad de tiempo se expresa en *vatios*. La potencia sonora de una conversación normal alcanza solamente unos 10 microvatios. Hablando en voz alta se alcanzan potencias del orden de 1 milivatio, lo que significa que si 1.000 personas se pusieran a gritar al mismo tiempo producirían 1 watio de potencia sonora.

El volumen o intensidad de la comunicación sonora se mide generalmente en decibelios (db). Los *decibelios* son unidades de medida logarítmica tales que un volumen correspondiente, por ejemplo, a 41 db resulta igual a diez veces el volumen correspondiente a 40 db y cien veces el correspondiente a 31 db. La conversación humana normal está generalmente comprendida entre los 30 y los 50 db, el rumor presente en un gran almacén llega a los 60 db, un concierto de *rock* puede alcanzar los 120 db, mientras que el umbral del dolor producido por los sonidos se encuentra, para la mayoría, en torno a los 140 db. Un murmullo ligero, percibido a una distancia de 2 metros, alcanza aproximadamente los 20 db, pero el oído humano puede percibir también sonidos de intensidad inferior al valor de referencia de 0 decibelios.

La producción de los sonidos Una palabra tiene su origen en la emisión de aire desde los pulmones, que provoca la vibración de las cuerdas vocales a una frecuencia cercana a los 150 Hz. Esta vibración resuena en la cavidad oral y en las cavidades nasales y, en función de la apertura de la laringe, de la posición de la lengua y de la posición de los labios, la frecuencia de los sonidos será distinta. El sonido de la letra "t", por ejemplo, se produce cuando los labios están ligeramente abiertos, la lengua toca los dientes anteriores y el aire es expulsado; si la lengua se detiene un par de centímetros más atrás, el sonido que se produce es el de la letra "k". Cuando la boca está en la posición apropiada para emitir el sonido "k", pero las cuerdas vocales entran en resonancia, se produce el sonido de la "g" suave.

La Fonética estudia los mecanismos de producción del lenguaje hablado. El Alfabeto Fonético Internacional puede describir todas las posibles formas del lenguaje humano. Un fonetista experto puede también transcribir los sonidos de un idioma que no conoce.

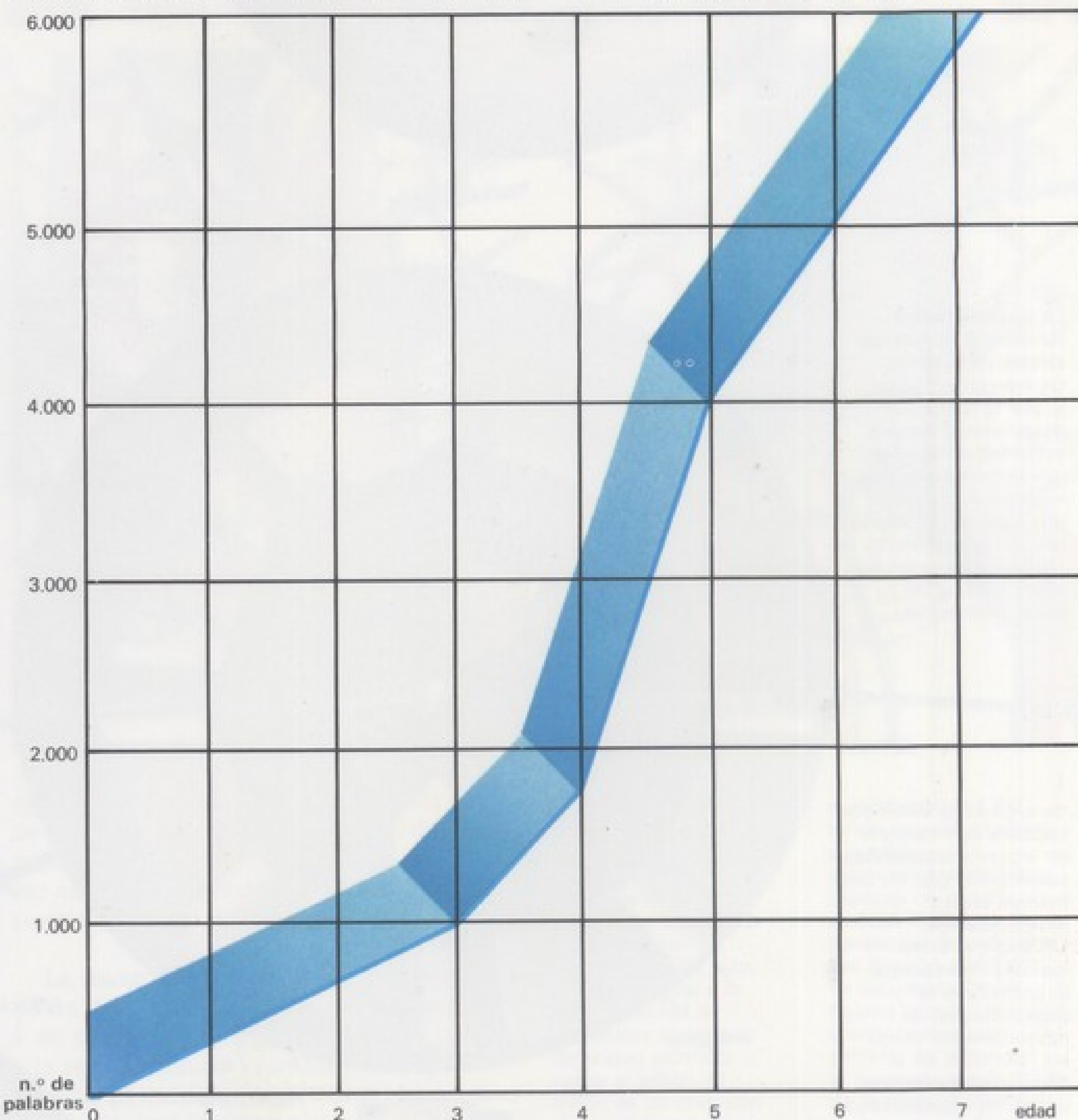
El significado del lenguaje Todas las lenguas y dialectos se basan en una única serie de sonidos fundamentales, llamados *fonemas;* antropólogos, lingüistas y sociólogos utilizan los instrumentos de la Fonética para estudiar el significado, tanto explícito como implícito, contenido en las distintas formas de expresión lingüística. Sin embargo, el lenguaje es un instrumento de comunicación extremadamente versátil y complejo, por medio del cual se pueden expresar ideas tanto a través de las pausas entre las palabras como por medio de los propios sonidos.

Los seres humanos aprenden a hablar de modo automático, por imitación del lenguaje de otras personas.

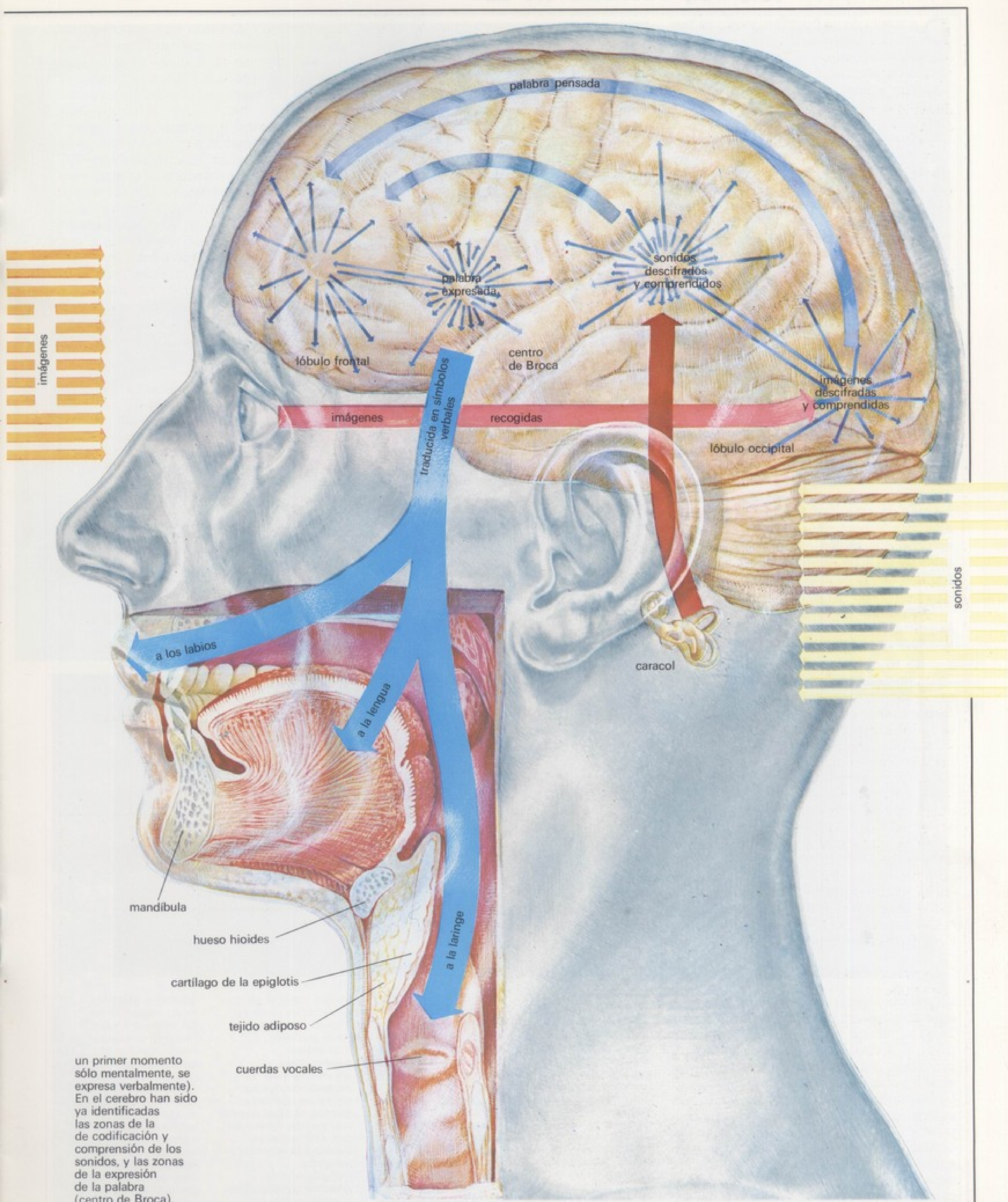
Donde quiera que exista un grupo de seres humanos, allí habrá un lenguaje. Existen más de 3.000 distintas lenguas conocidas y la mayor parte de ellas presenta bastantes variaciones dialectales.

El cerebro humano posee unos *centros de lenguaje* con los que controla los músculos que producen los sonidos y los aparatos que decodifican el significado de los propios sonidos. Si estos centros cerebrales sufren algún daño, se produce la pérdida de la palabra y de la capacidad para comprender el lenguaje de los otros.

Véase **Cerebro; Lenguaje y lenguas**



El lenguaje es posible solamente a través del concurso de distintos mecanismos fisiológicos y psicológicos. De este modo, no sólo es importante la absoluta integridad del sistema nervioso central y de los órganos específicamente involucrados en esta función, sino que también sucede que la intervención de la personalidad global del individuo, del nivel cultural, del ambiente y de la estructura social completa en la que la persona vive son factores importantes. En el gráfico de la parte superior se ilustra el número de palabras pronunciadas por el niño en función de la edad, mientras que en la página de al lado se explican los mecanismos de formación de las palabras, que se producen en dos fases: en la primera los estímulos son descifrados y comprendidos; la segunda fase se divide, a su vez, en dos momentos (en el primero, los sonidos y las imágenes visuales son traducidos a pensamientos, en el segundo momento, la palabra, formulada en



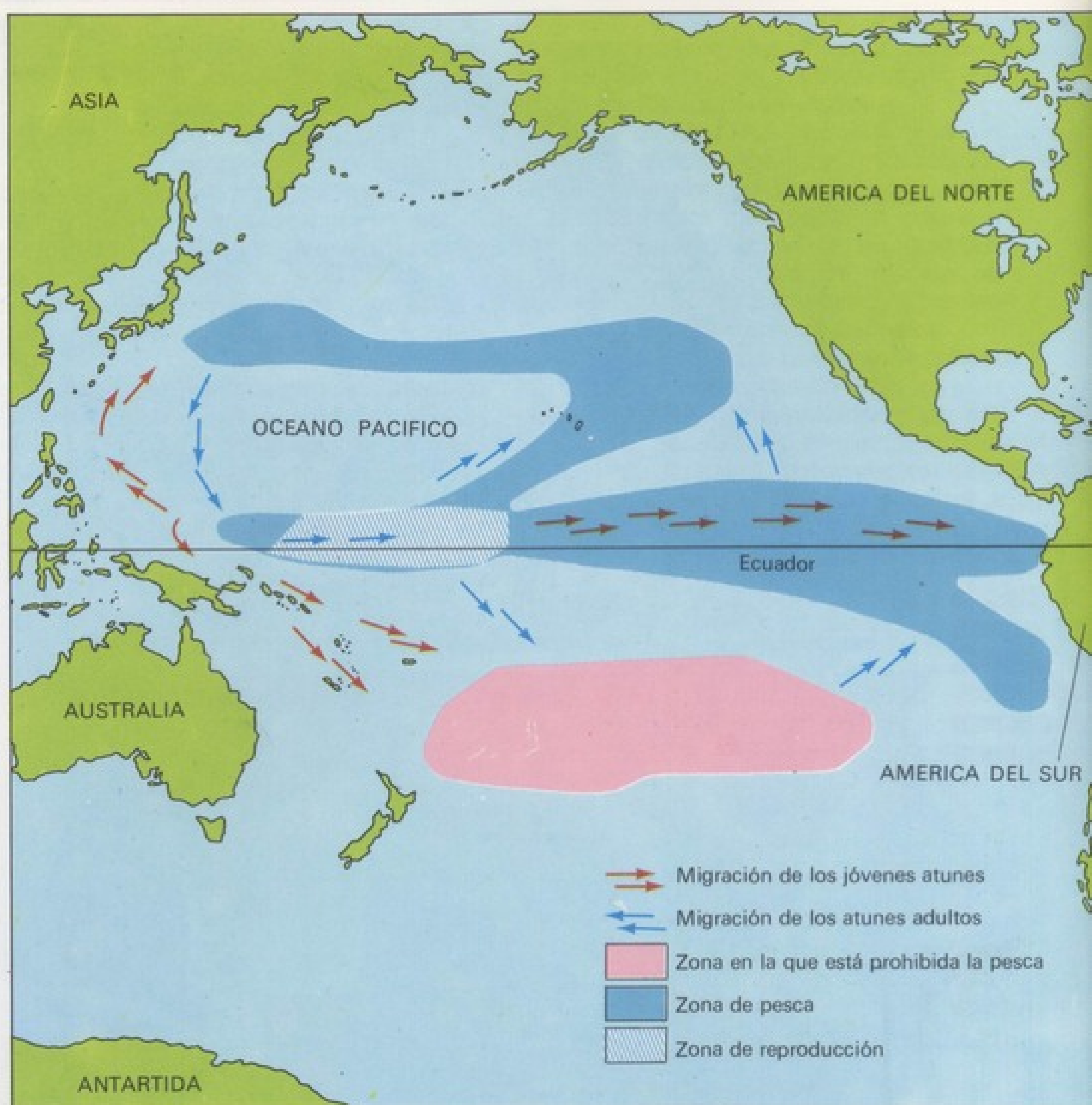
un primer momento sólo mentalmente, se expresa verbalmente). En el cerebro han sido ya identificadas las zonas de la de codificación y comprensión de los sonidos, y las zonas de la expresión de la palabra (centro de Broca).

Orientación animal, sentido de la

De vuelta de un fructífero vuelo en busca de alimento, una abeja se posa en la pared vertical de su colmena y a continuación emprende el vuelo alejándose un poco y moviendo el abdomen de izquierda a derecha. Luego invierte su camino, y siguiendo un recorrido semicircular regresa al punto de partida, a partir del cual volverá a comenzar su danza (llamada *danza de las abejas*). Tras haber repetido varias veces su exhibición, las demás abejas de la colmena, que la han estado observando, salen a buscar alimento hacia el lugar que les ha revelado la abeja "danzarina". Y es que realmente ha logrado comunicarles el lugar exacto de donde ha venido: la distancia hasta la colmena guarda relación con el ritmo de la danza, mientras que con la dirección de los tramos rectilíneos de su vuelo ha comunicado la posición del Sol en el momento del descubrimiento, y por consiguiente la dirección que se debe seguir en el vuelo.

Estas señales no son más que un ejemplo de la capacidad de orientación de los animales, que consiste en un conjunto de comportamientos que se activa automáticamente bajo la acción de estímulos ambientales. La capacidad de orientación permite que los animales localicen las fuentes de alimento, huyan del peligro y alcancen la posición más favorable en su entorno, que según los casos puede ser la rama de un árbol, un lugar soleado o la superficie de un estanque.

Orientación en el espacio Hay dos tipos de tropismo o esquemas de orientación espacial. La *cinesis* es la respuesta a un estímulo genérico y desconocido, algo así como cuando un perro sigue un rastro. Tales estímulos no suelen ser capaces de guiar al animal hasta el lugar de donde proceden, pero de todas formas tienen un efecto notable sobre su comportamiento. La humedad, la presión y la luz difusa son estímulos que provocan este tipo de respuesta. Los ciempiés, por ejemplo, que necesitan un hábitat muy húmedo, empiezan a moverse de forma caótica si se les aleja del ambiente oscuro y húmedo de las rocas del sotobosque: la velocidad de sus



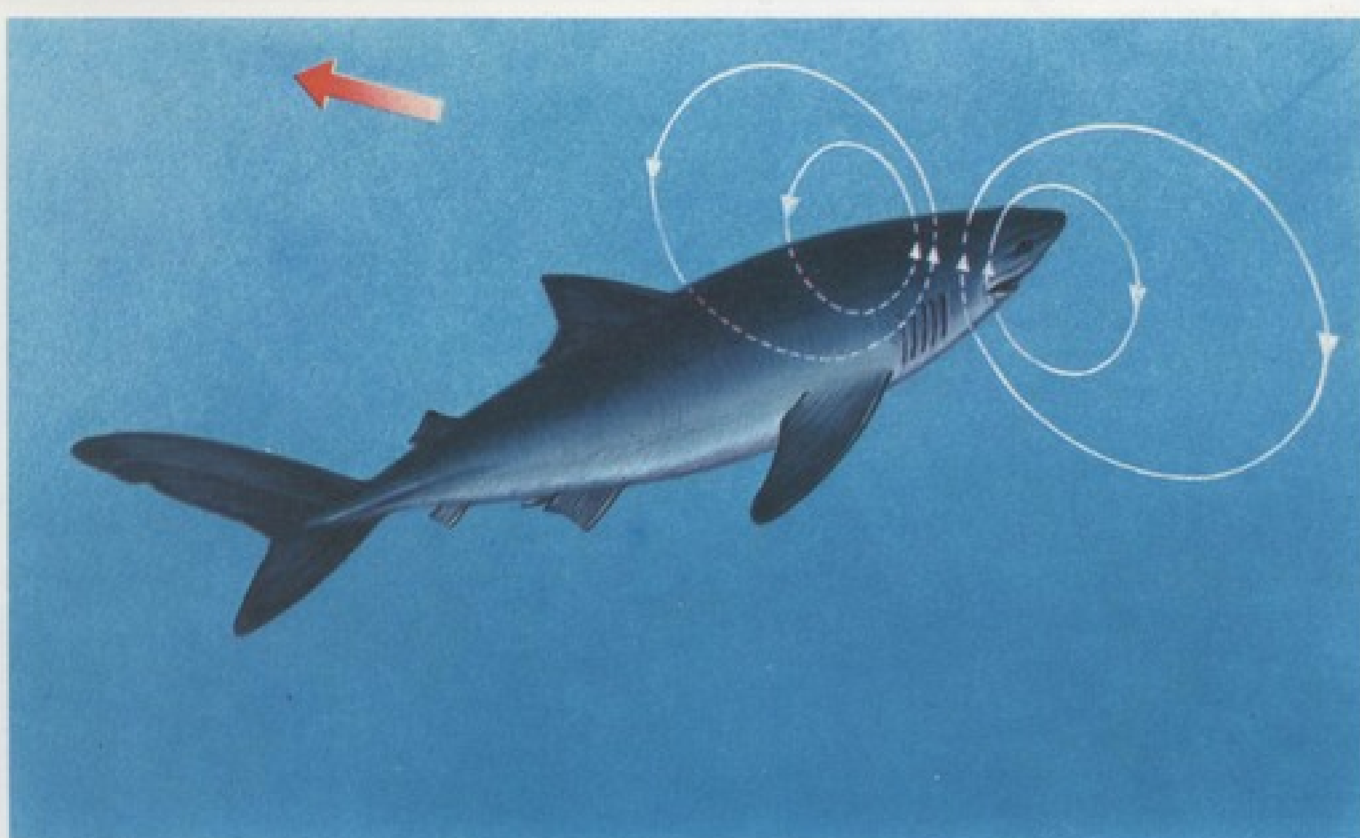


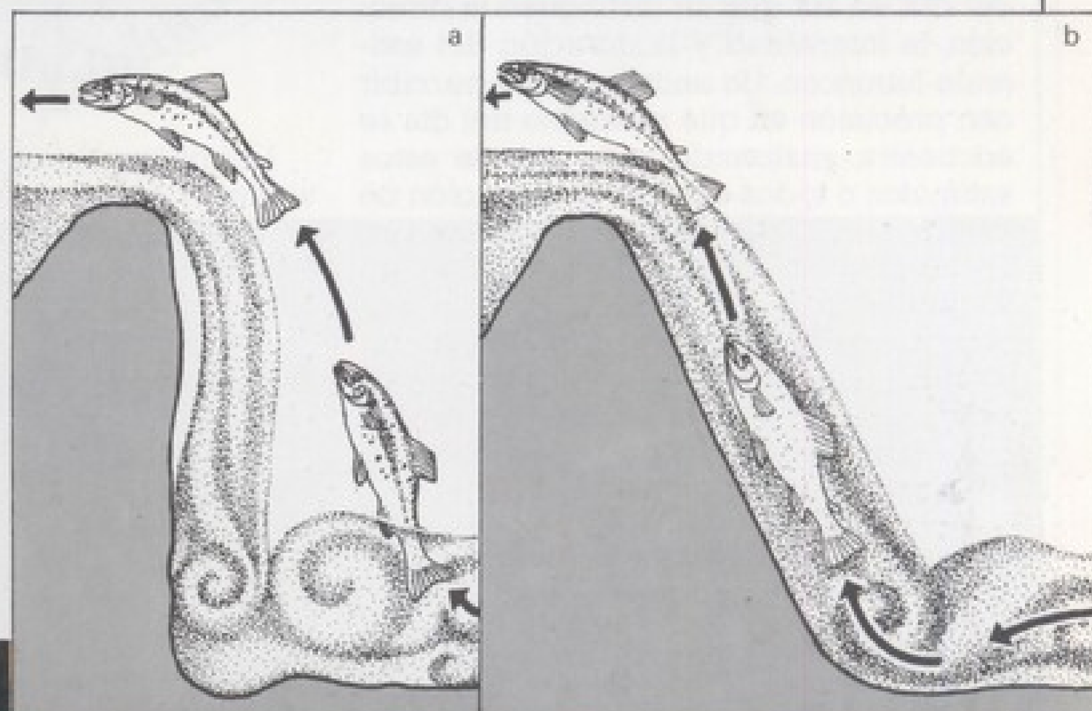
El atún es el único pez óseo que realiza migraciones tan amplias como las que vemos en el mapa de arriba, en aguas de todos los océanos. Ciertos experimentos realizados mediante marcaje han demostrado que un atún es capaz de recorrer el trayecto Florida-Noruega, una distancia de unos 10.000 km, en 50 días. Se trata de un formidable nadador, que consigue mantener una velocidad de crucero de unos 30 km/h, mientras que por poco tiempo es capaz de nadar a la velocidad de 70 km/h. Su existencia escapa a las investigaciones más meticulosas, por lo que se sabe poco acerca de los mecanismos que regulan sus desplazamientos. En la página siguiente vemos cómo el salmón es capaz de remontar incluso los saltos de la corriente. Numerosos experimentos de marcaje han demostrado que los salmones vuelven a los ríos, al lugar donde han nacido. Parece ser que esta vuelta es debida a la experiencia adquirida individualmente. Algunos investigadores piensan que lo que guía a los salmones en su migración son los olores del agua, mientras que, según otros, se orientan basándose en la posición de los astros. Durante este viaje, el salmón realiza auténticos prodigios de acrobacia, ayudándose a veces de los remolinos de las cascadas para tomar impulso (b) o bien empleando sólo sus propias fuerzas (a).

movimientos está regulada por la humedad atmosférica, y no se detienen hasta que no se ha restablecido un valor de humedad determinado. Este tipo de comportamiento se conoce con el nombre de *orticinesis*.

Otra modalidad de respuesta cinética es la *cliocinesis*. En este caso, la velocidad del movimiento del animal permanece constante, y lo que varía es la rapidez con la que efectúa los cambios de direción. Si el nivel de iluminación, por ejemplo, aumenta bruscamente, las planarias empiezan a retorcerse desordenadamente durante una media hora, hasta que, acostumbradas al nuevo nivel de iluminación, vuelven a sus movimientos regulares de costumbre. Esta capacidad de adaptación, llamada *habituación*, sólo aparece cuando las nuevas condiciones no difieren demasiado de las normales.

El *tactismo* o *taxia* es otro tipo distinto de orientación espacial, como respuesta directa a un estímulo direccional. En este caso, el animal mide el gradiente, es decir, las variaciones de intensidad local de un estímulo, en función de su distancia a la fuente de emisión, hasta que llega a determinar su posición. En la *tropotaxia*, el animal (que está dotado de pares de receptores sensoriales, como las antenas o los ojos) mide simultáneamente, comparándolos, la intensidad del estímulo a ambos lados de su cuerpo, y es capaz de valorar la distancia de la fuente de estímulo a partir de las señales captadas por los dos sensores. La migración de las aves es un ejemplo de los objetivos que se pueden alcanzar mediante la orientación se-

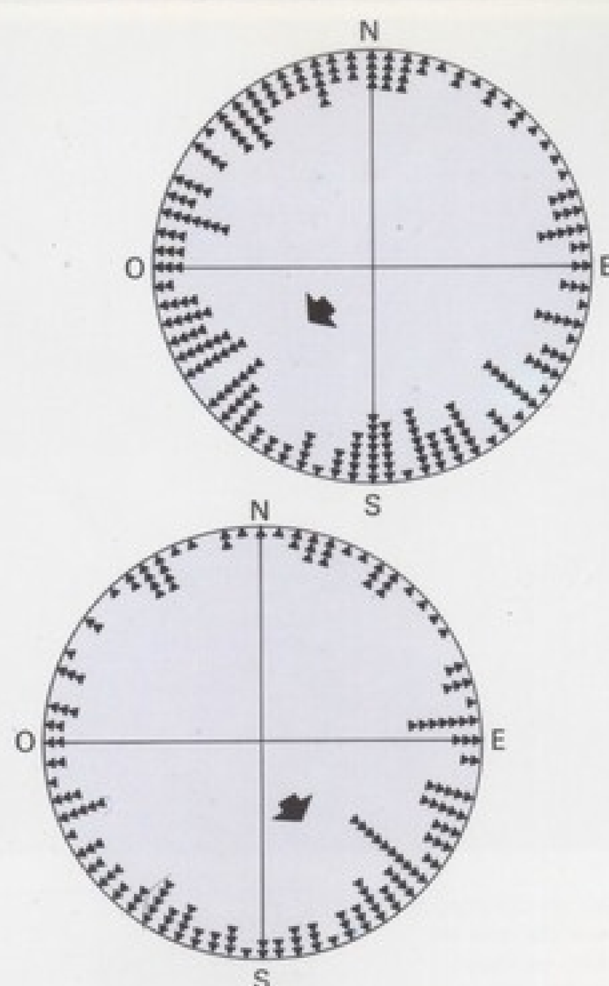




Arriba, el tiburón, a pesar de que su cerebro es muy pequeño, posee una serie de órganos sensoriales muy elaborados, lo que le permite tener una sensibilidad muy aguda ante los estímulos del medio. En el dibujo, la flecha representa la dirección del campo magnético terrestre, y los círculos, las corrientes eléctricas inducidas que es capaz de captar el animal; con estos elementos se orienta.

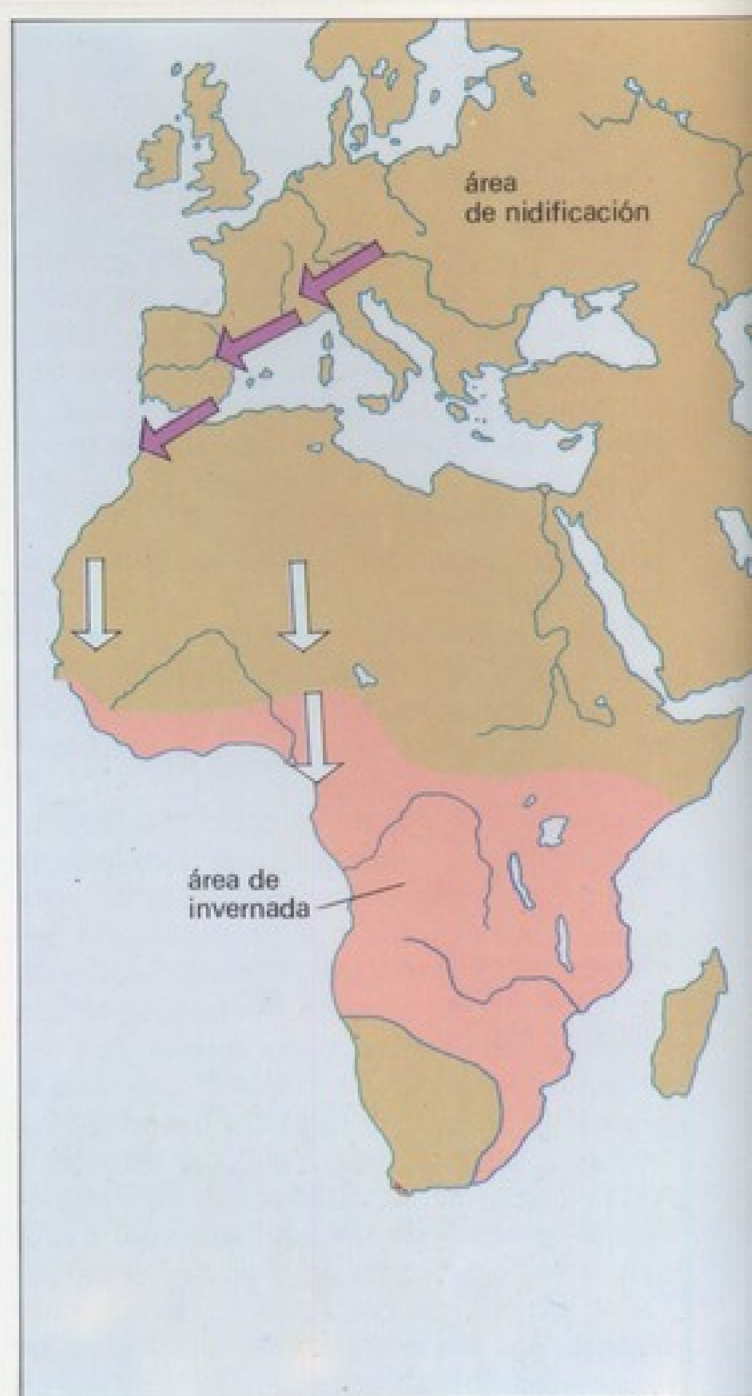
gún el tactismo, en los casos en que la bandada se sirve del Sol como de una brújula para llegar a un lejano destino, miles de kilómetros apartado de la región de nidificación. El retorno de los salmones a sus lugares de nacimiento para desovar y acabar su ciclo vital es otro ejemplo de tactismo, ya que son capaces de apreciar las más mínimas variaciones de olor del agua de los ríos y lagos (cada curso de agua tiene un olor característico) y llegan a su lugar de origen guiándose por un estímulo olfativo.

Orientación temporal Además de la orientación espacial, en los animales hay un tipo de orientación temporal. Los relojes biológicos de cada animal están sincronizados con los ciclos del sol, la luna, las estrellas y las mareas. Los ciclos del tiempo solar (llamados *ritmos circadianos*) están relacionados con la percepción de las variaciones de luminosidad a lo largo del día, en las que se distinguen la dirección, la intensidad y la duración del estímulo luminoso. Un animal puede percibir con precisión en qué momento del día se encuentra, analizando cada uno de estos estímulos o todos a la vez. La variación de la duración del día a lo largo del año es, seguramente, el factor determinante para el comienzo de la época de celo de muchos animales. Si se saca a un animal de su hábitat normal, durante algún tiempo seguirá con su ritmo temporal habitual, hasta que se adapte a las nuevas referencias temporales.



La orientación es la única forma de movimiento de los animales que responde a un esquema preciso de condiciones temporales y espaciales. Si un animal se ve «obligado» a moverse, la falta de «fuerza de voluntad» es suplida por los complejos mecanismos del comportamiento de orientación.

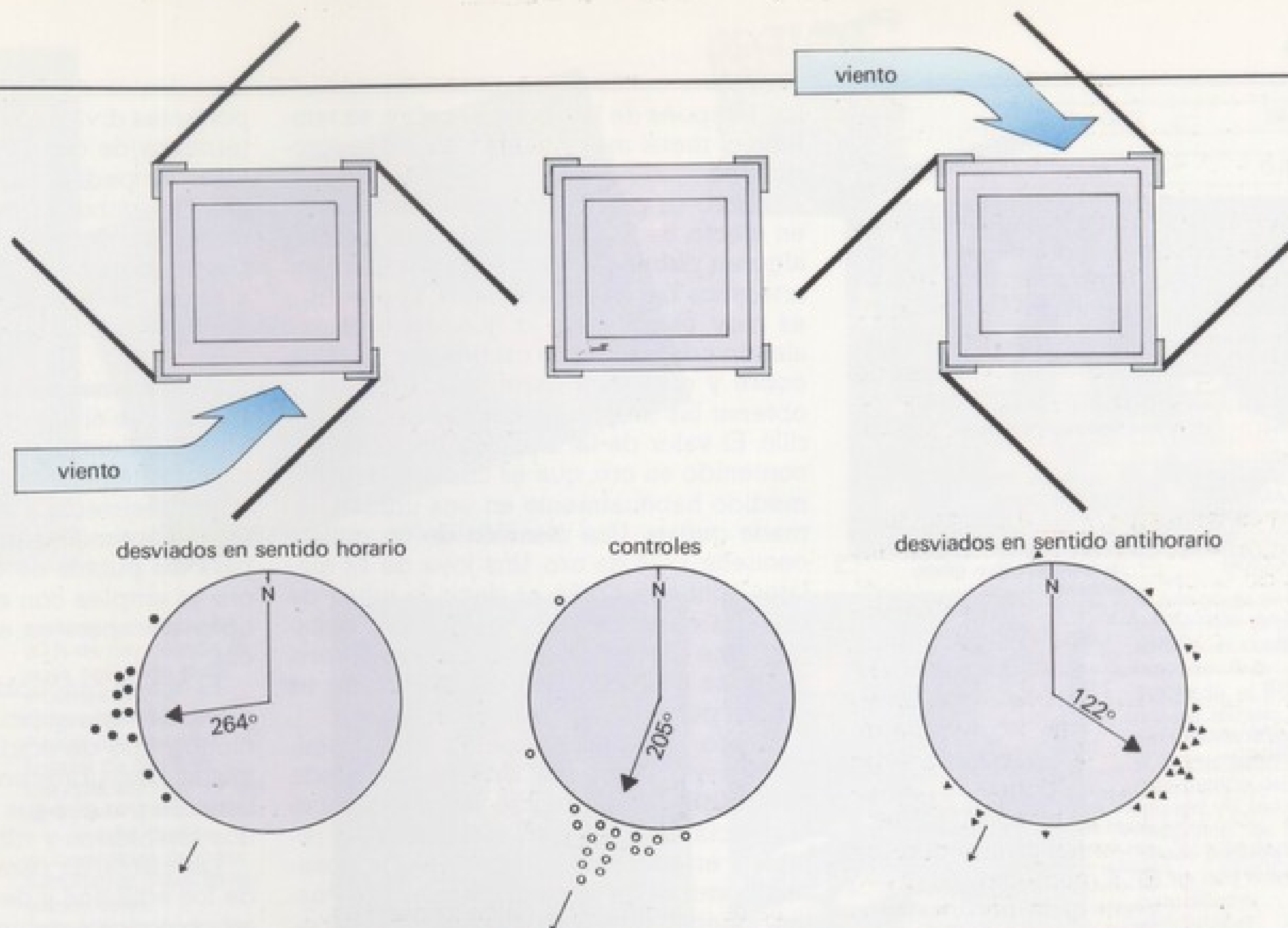
Véase **Migraciones animales**





Muchas especies animales son capaces de orientarse a distancia hacia una meta determinada sin estar guiadas por una conexión sensorial directa. Sus rutas migratorias están determinadas por el conocimiento de vientos y condiciones meteorológicas, la existencia de auténticos relojes biológicos, y por una brújula solar, estelar y magnética. La ruta de migración de la curruca mosquitera (abajo vemos un ejemplar) está orientada, como se puede ver en el mapa, primero al Suroeste y luego al Sureste. En laboratorio, algunos ejemplares han demostrado poseer las mismas tendencias direccionales, como se puede ver en los diagramas, lo que pone en evidencia que el mecanismo que regula su ruta de migración está fijado en el patrimonio genético. Esto podría explicar que los más jóvenes sean capaces de efectuar su viaje como los demás. En laboratorio, los experimentos sobre la orientación se realizan mediante aparatos como el embudo de Emlen, consistente en un cono invertido en cuya parte más estrecha se coloca un tampón entintado sobre el que descansa el animal, dejando un rastro cuando se mueve. En la mitad inferior de la página siguiente puede verse una pantalla de radar con los trazos dejados por bandadas de aves en vuelo. Con este método se pueden calcular la dirección y la velocidad de las bandadas, y también estimar el número de ejemplares que las componen. Los diversos dibujos situados en la mitad superior de esa misma página ilustran otro aspecto de esta misma cuestión.
Según recientes estudios, las palomas aprenden a reconocer →

los olores que prevalecen en las zonas en las que han sido orientadas, asociándolos a los vientos que los llevan; gracias a esto se puede trazar un "mapa olfativo orientador" de la región conocida, que naturalmente iría variando con las estaciones y con los posibles cambios del palomar. La hipótesis de que la paloma mensajera vuela basándose en el olfato ha sido confirmada por experimentos en los que los animales se criaban en jaulas con pantallas que desviaban los vientos para alterar la asociación entre éstos y los olores transportados. Cuando se las dejaba en libertad, las palomas mostraban desviaciones en su orientación de acuerdo con el tratamiento recibido (diagramas circulares).



Oro

NOMBRE	ORO
SIMBOLO	Au
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del latín *aurum*
N. ATOMICO	79
PESO ATOMICO	196,967
ESTADO NATURAL	en estado nativo y en los minerales silvanita y calaverita
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	conocido desde la Prehistoria
PRODUCCION	de residuos de elaboración de la plata, cobre, plomo y níquel
P. f. (°C)	1.063
P. eb. (°C)	2.966
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	19,3
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal noble, dúctil y maleable, usado sobre todo en aleación con cobre, níquel y plata para acuñar monedas y en orfebrería, para contactos eléctricos, conductores de alta frecuencia (aparatos radar).

Durante mucho tiempo, el oro ha sido apreciado, sobre todo en joyería, por su gran belleza. Sin embargo, aunque el uso principal del oro siga estando todavía en ese campo, ciertas propiedades, como su inercia química, le han convertido en un metal muy apreciado no sólo en joyería, sino también en el campo de la electrónica, las telecomunicaciones, la odontología y la técnica espacial.

El rey de los metales Desde la Antigüedad, el oro ha sido considerado como el rey de los metales.

El oro se diferencia de los otros metales también por su color. Es de un color amarillo-luminoso, mientras que la mayor parte de los otros metales es de color blancoplateado. Además, el oro es, de entre todos los metales, el más maleable: se le puede reducir fácilmente a hojas o a hilos. Después de la plata y el cobre, es también el metal mejor conductor de la electricidad.

El oro es prácticamente indestructible: en efecto, se han encontrado casi intactas algunas piezas hechas en oro por antiguos artesanos hace miles de años. El oro puro es muy blando, por lo que suele usarse aleado con pequeñas cantidades de plata, cobre y cinc para darle mayor dureza y obtener las diversas tonalidades del amarillo. El valor de tal aleación depende del contenido en oro, que es cuidadosamente medido habitualmente en una unidad llamada *quilate*. Una aleación de un quilate contiene 1/24 de oro. Una joya de 12 quilates contiene 12/24, es decir, la mitad de la pieza es de oro; una pieza de 18 quilates tiene las tres cuartas partes de oro, mientras que una pieza de 24 quilates es de oro puro.

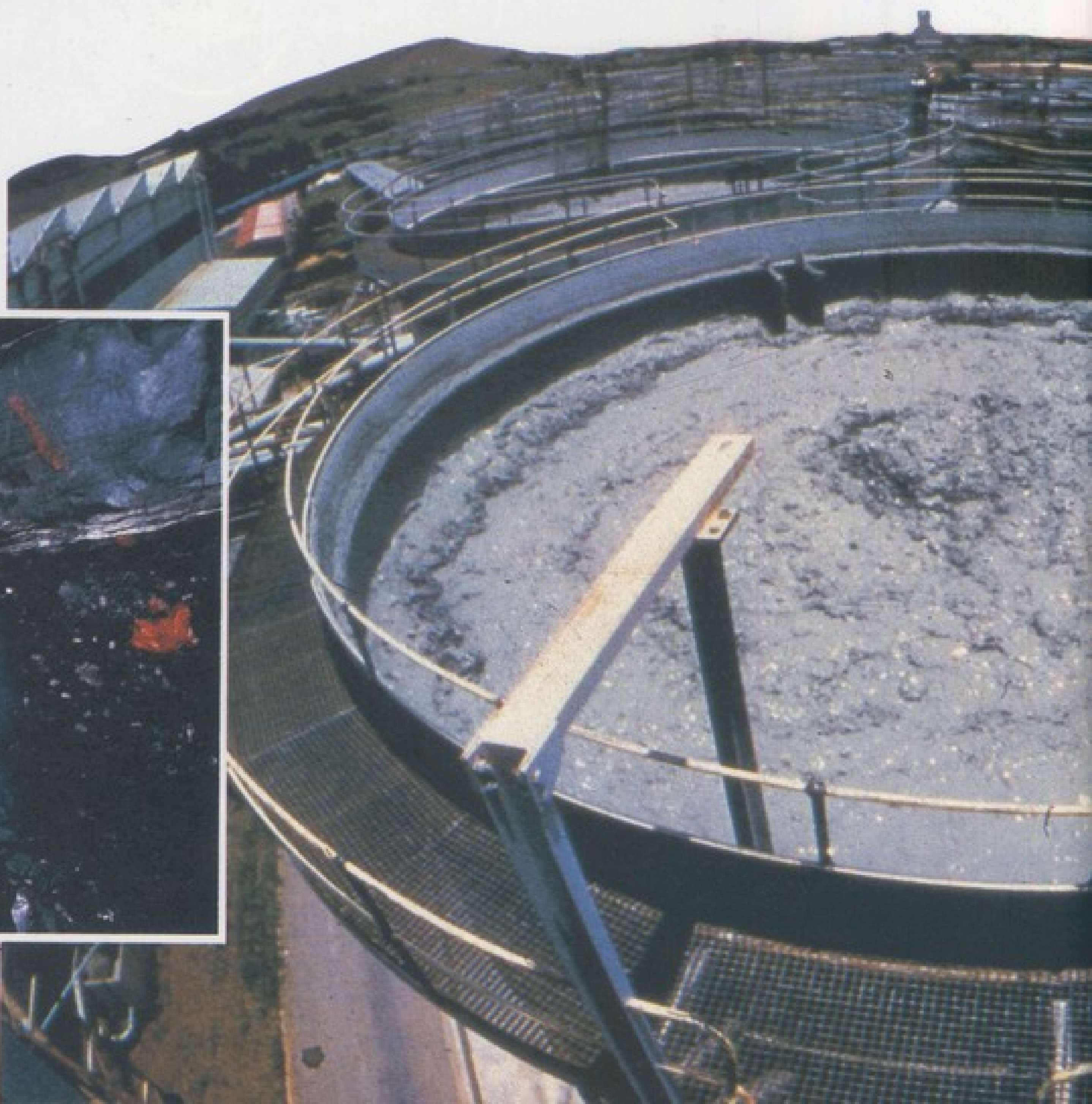
El oro, por su preciosidad, indestructibilidad y belleza, ha sido usado desde hace siglos como medio de intercambio comercial. En efecto, los mercaderes lo recibían, en cantidades debidamente pesadas, como pago por sus mercancías. Posteriormente, para evitar las continuas pesadas, se acuñaron las primeras monedas de oro, que tenían una incisión que indicaba su peso exacto. Sin embargo, el oro no se ha utilizado sólo para hacer monedas, sino que se ha convertido, en muchos países, en patrón monetario: si una unidad de divisa, como el dólar estadounidense, representa una cierta cantidad de otro material, por ejemplo, de oro, este material se define como patrón monetario. Antes de la I Guerra Mundial, muchas de las más importantes divisas mundiales se definían en términos de oro y los billetes de tales divisas se podían cambiar en monedas de oro. Sin embargo, después de este período, el uso del oro como moneda y como patrón monetario ha disminuido, en parte a causa de sus usos industriales y de su coste creciente.

Aplicaciones del oro en el campo industrial
Puesto que el oro es un excelente conductor de la electricidad y se puede alear con otros metales para formar un material sólido y resistente a la herrumbre, constituye un óptimo material de revestimiento para los puntos de contacto eléctricos. El oro se emplea con este objeto en muchos tipos de aparatos eléctricos y electrónicos.

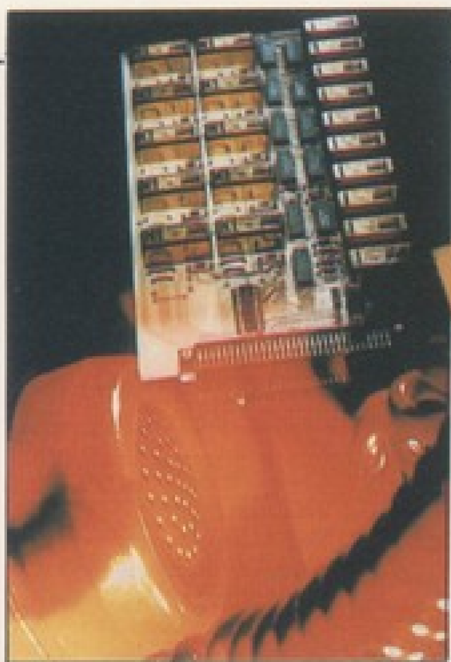
El oro es prácticamente inerte desde el punto de vista químico y no es dañado por ningún tipo de ácido. Los antiguos alquimistas descubrieron que era disuelto solamente por el agua regia (mezcla de ácidos clorhídrico y nítrico concentrados).

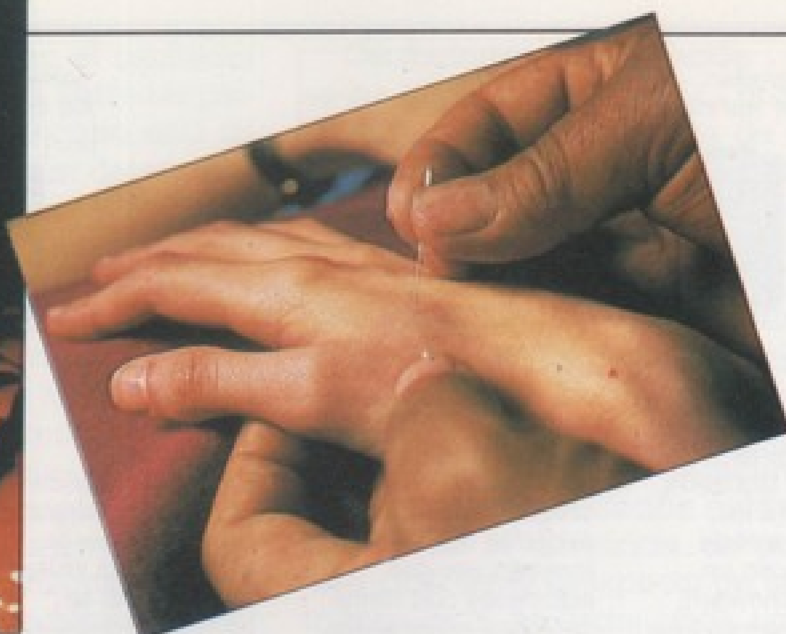
Las pantallas para la reflexión de calor de los edificios y de las naves espaciales, así como los paraluces de los trajes espaciales, se recubren a menudo con una fina capa de oro. Debido a que refleja muchos tipos de radiación, el oro se aprovecha para mantener constante la temperatura y como protección contra ciertos tipos de radiaciones dañinas.

Véase **Metales nobles**



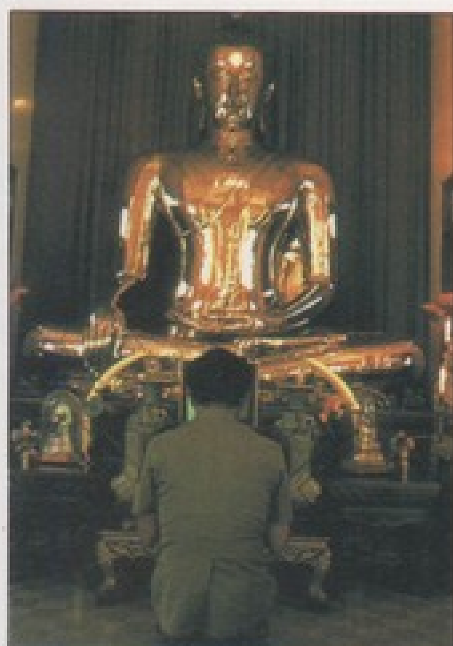




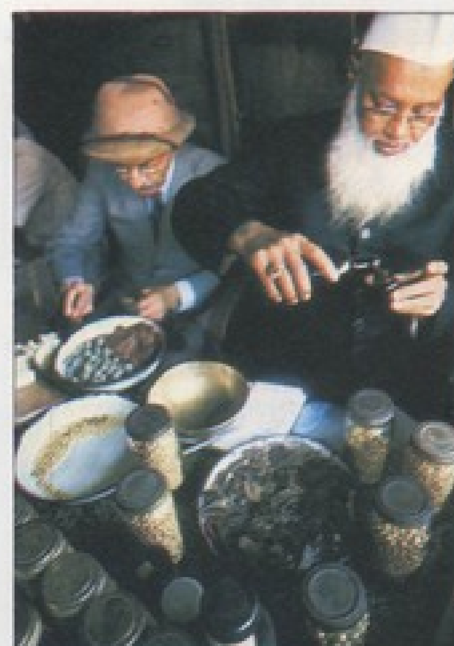




En la página anterior, abajo, a la izquierda, minero trabajando en un filón aurífero con una barrena neumática. En los orificios practicados se hace estallar el explosivo; el material bruto extraído es triturado y lavado para quitarle la fracción más ligera. La fracción restante, rica en oro, se deposita en unos recipientes (abajo, en el centro) en los que se agita con una disolución de cianuro que se unirá al oro separándolo de la ganga. Finalmente, después de la separación del cianuro, el oro se funde, obteniéndose lingotes de oro todavía impuros. Estos lingotes contienen menos del 90% de oro, siendo el resto casi todo plata y cerca del 2% cobre, plomo y cinc. Abajo, a la derecha, lingote de oro fino. Las aplicaciones del oro se dirigen sobre todo a la joyería, donde se consumen grandes cantidades. Aquí arriba vemos otras aplicaciones comunes: el dorado de los contactos de los circuitos telefónicos y una aguja de oro para acupuntura; a la derecha, la lámina de oro que se usa en el dorado (tiene un espesor de una diezmilésima de milímetro) y el dorador que aplica la lámina de oro a la madera esculpida.



International Gold Corporation



El oro no es ni ha sido usado sólo para adornar el cuerpo humano. A la izquierda, el Buda de oro del templo Wat Freimitr de Bangkok, el monumento de oro más grande del mundo. Al lado, un "boticario" de Bombay vende píldoras de oro, de las que ensalza sus propiedades afrodisiacas. Abajo, máscara funeraria precolombina.



International Gold Corporation



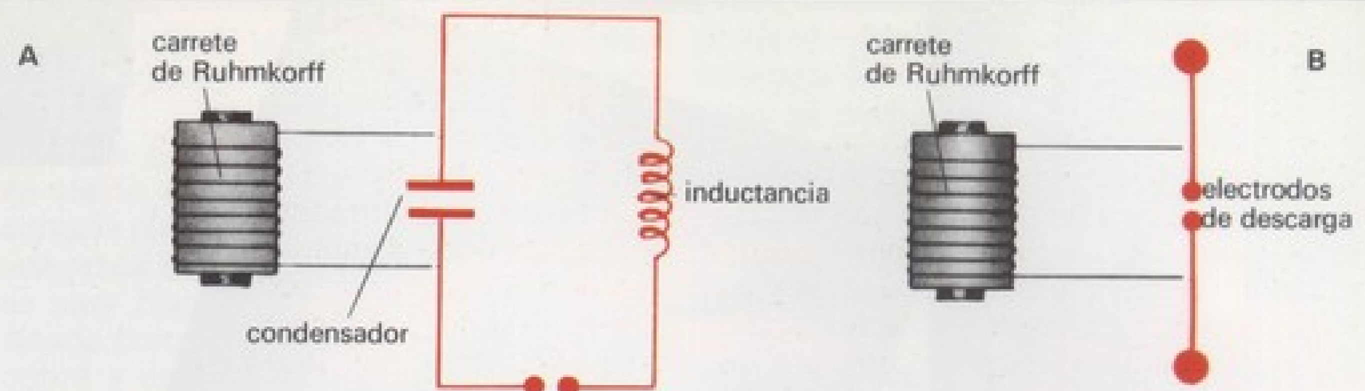


Oscilador

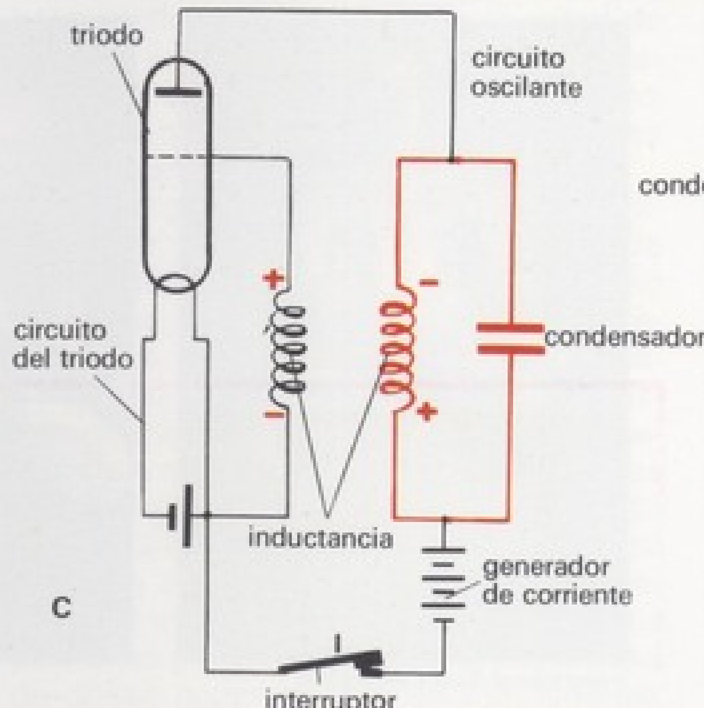
Un péndulo en movimiento constituye el más sencillo ejemplo de objeto que oscila: en este caso la oscilación (mecánica) consiste en el cambio de posición de una cierta cantidad de materia; en general, por oscilación puede entenderse la variación periódica de cualquier magnitud, no sólo la de la posición de la materia. También se puede hacer oscilar una corriente eléctrica, y en este caso lo que varía es la diferencia de potencial y la corriente del circuito eléctrico. Aquellos circuitos capaces de producir este efecto se llaman osciladores.

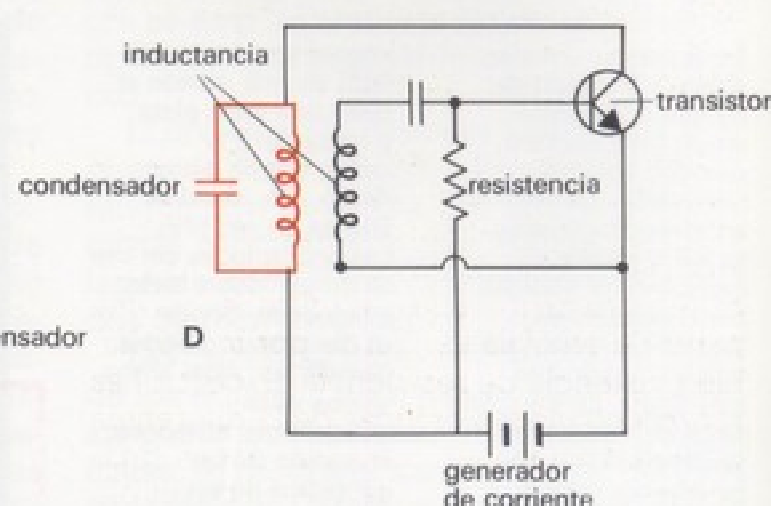
Circuitos LC La parte fundamental de muchos osciladores la constituye un circuito compuesto por un *condensador* y una *inductancia*, llamado de forma resumida circuito LC.

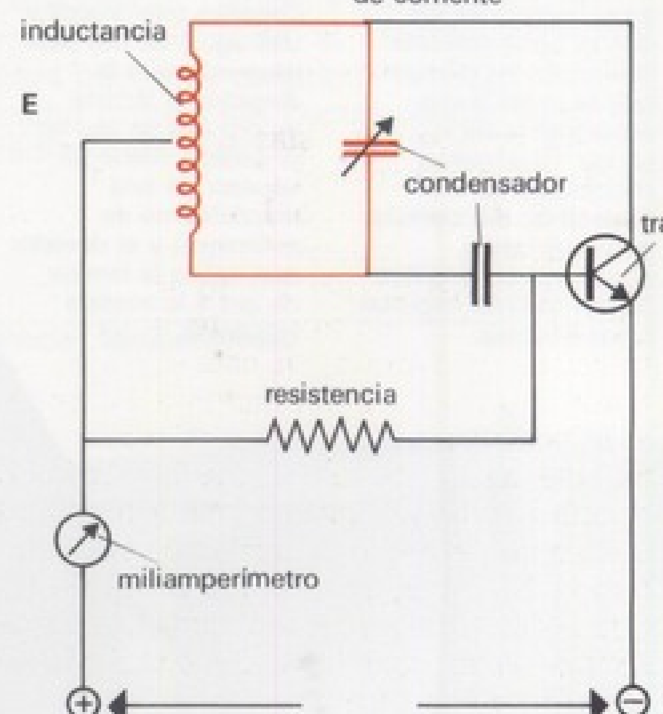
Una inductancia es un componente que transforma la energía de una corriente eléctrica en un campo magnético. Normalmente está formada por una bobina de hilo conductor enrollado alrededor de un núcleo de hierro, o de otro material ferromagnético. Un condensador recoge y almacena una cierta cantidad de energía eléctrica, quedándose las cargas positivas y negativas separadas en dos placas metálicas paralelas, entre las que existe una capa de material dieléctrico. Si se conectan las dos placas de un condensador cargado con un conductor, por ejemplo un hilo metálico, la energía almacenada se libera y el condensador se descarga instantáneamente. Cuando un condensador cargado se conecta a una bobina, el condensador se descarga generando un campo magnético. Cuando el condensador ha liberado toda su energía, la corriente deja de circular. Pero en este momento, el campo magnético creado por la bobina induce una nueva corriente, que vuelve a cargar el condensador con polaridad opuesta a la inicial. Cuando el condensador se ha cargado completamente, se vuelve a descargar en el sentido contrario, repitiéndose el proceso hasta que alcanza la polaridad original, y así sucesivamente.



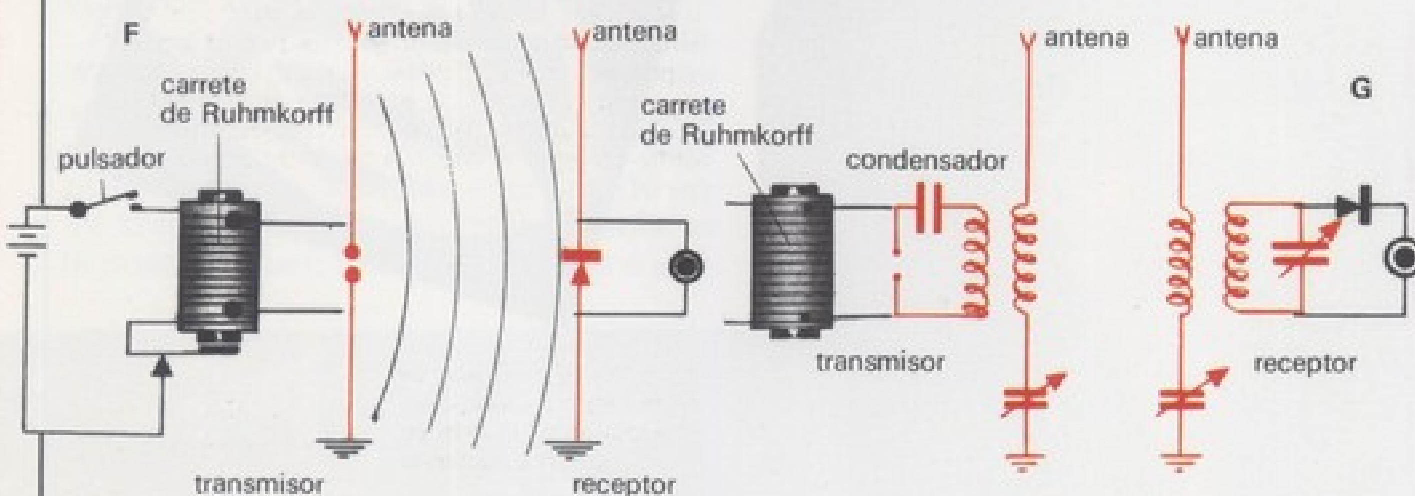
Circuito oscilante cerrado (a la izquierda, A) y abierto (a la derecha, B), ambos alimentados con un carrete de Ruhmkorff, dispositivo que produce diferencias de potencial elevadas y chispas. El circuito oscilante abierto está formado por dos electrodos con forma de esfera enfrentados y ligeramente separados. Aplicando una tensión elevada a los electrodos se produce una chispa. Este circuito se utilizaba generalmente para estudiar las ondas electromagnéticas, mientras que el de la izquierda servía para obtener descargas de frecuencia muy elevada.

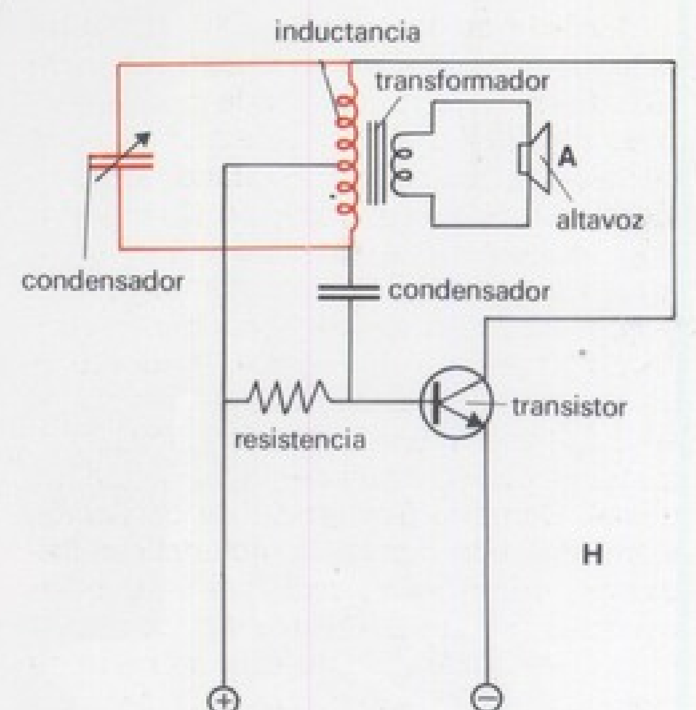






Para obtener osciladores que mantengan la señal (es decir, circuitos oscilantes que superen las pérdidas de energía debidas a la resistencia interna del circuito) se puede recurrir a la utilización de un triodo conectado con el circuito oscilante (C), o bien a un transistor conectado con el circuito oscilante, como se puede ver en el dibujo (D). El circuito representado junto a estas líneas (E) es otro ejemplo de oscilador con transistor (oscilador de Hartley). Si la bobina de inductancia es de 15 espiras de hilo de cobre esmaltado, con un diámetro de cerca de 1 mm se pueden obtener frecuencias entre 3,5 y 5 MHz.





Para obtener frecuencias audibles se puede utilizar un oscilador similar al de Hartley. Pero en este caso (A), al intentar obtener frecuencias más bien bajas, la inductancia del circuito se obtiene de un transformador de baja frecuencia. El condensador conectado en paralelo con el circuito primario (en negro en el dibujo) controla la frecuencia del sonido que emite el altavoz. En F y G, esquema de uno de los primeros aparatos transmisores que inventó Marconi para radiotelegrafía. Modificando el oscilador abierto y convirtiéndolo en antena, Marconi mejoró su sensibilidad. Una mejora de la sintonía entre transistor y receptor se obtiene ajustando la frecuencia de oscilación del circuito de antena con una inductancia variable.

La magnitud que varía en el oscilador es la diferencia de potencial entre las placas del condensador. Al principio, esta diferencia de potencial está a un determinado nivel, desciende hasta cero y vuelve a alcanzar el nivel inicial, pero con la polaridad opuesta; después vuelve a cero y completa el ciclo volviendo al nivel y polaridad iniciales. La representación gráfica de esta variación tiene la forma de una onda sinusoidal, que corresponde a la forma de oscilación más simple.

El número de ciclos completos en un segundo se llama frecuencia de oscilación y depende de las características eléctricas de la bobina y del condensador. Por tanto la frecuencia se puede cambiar modificando los valores de uno o de los dos componentes del oscilador.

Realimentación y amplificación En la descripción del circuito LC se ha supuesto que durante el funcionamiento del circuito no había pérdida de energía eléctrica. Sin embargo, en los circuitos reales una parte de energía se pierde por la inevitable existencia de resistencia eléctrica. Las representaciones gráficas de la diferencia de potencial son en este caso ondas sinusoidales que van disminuyendo de amplitud hasta quedar completamente planas (este fenómeno se llama *oscilación amortiguada*).

Para compensar estas pérdidas se le tiene que proporcionar al circuito la energía que va perdiendo. Esto se consigue amplificando ligeramente la señal en el circuito oscilador, insertando en el mismo circuito algún componente activo (un transistor o un triodo); de esta forma se obtiene un oscilador permanente. La conexión entre amplificador y oscilador se tiene que hacer de forma que la corriente aportada tenga la misma fase y amplitud suficiente para que la oscilación sea mantenida. Es decir, cuando los picos de las dos señales coincidan, su suma tiene que ser una señal igual que la del circuito ideal sin pérdida de energía.

Osciladores de cristal Otra forma de generar corriente eléctrica oscilante está basada en las propiedades de ciertos cristales. Algunos cristales, especialmente los cristales de cuarzo, vibran cuando los atraviesa una descarga eléctrica. Cuando vibran, generan una corriente que tiene la misma frecuencia que la vibración. Este proceso se llama *efecto piezoeléctrico*. Las oscilaciones, por su cuenta, tenderían a amortiguarse progresivamente, pero si se aplica al cristal una señal en la forma correcta se puede mantener la vibración del cristal. Como la frecuencia de oscilación viene definida por las características físicas del cristal de cuarzo, que se pueden controlar con mucha precisión, los osciladores de cristal se utilizan a menudo en aparatos donde son necesarias frecuencias de referencia muy precisas. Por ejemplo, los relojes electrónicos de cuarzo funcionan de acuerdo con el efecto piezoeléctrico y tienen una precisión muy alta.

Osciladores de relajación Como ya se ha visto, un circuito LC produce oscilaciones que tienen forma de onda sinusoidal, al igual que los osciladores de cristal. Existe otro tipo de osciladores que puede generar corrientes variables con formas de onda distinta de la sinusoidal, y reciben el nombre de *osciladores de relajación*. Uno de los posibles osciladores de relajación hace que la diferencia de potencial aumente a ritmo constante durante un cierto período y disminuya bruscamente. La representación gráfica de la variación de la diferencia de potencial en este caso tiene el aspecto de una serie de triángulos y se llama *onda en diente de sierra*.

Otro tipo de oscilador de relajación, llamado *multivibrador*, genera un valor fijo de potencial durante un cierto tiempo y después pasa rápidamente a generar un potencial del mismo valor absoluto y con el signo cambiado. La representación gráfica de este tipo de oscilación es una onda cuadrada.

Aplicaciones de los osciladores Los osciladores se utilizan cuando se necesita una corriente que varíe de forma regular con el tiempo. El circuito que produce la oscilación se suele conectar a otro circuito a través de un amplificador separador, que tiene la doble misión de amplificar las pequeñas diferencias de potencial que genera el oscilador y de protegerlo de las molestias procedentes del circuito de carga, que podría interferir con las vibraciones del oscilador.

Los osciladores se utilizan muy frecuentemente en radio, en televisión y en las instalaciones de transmisión y recepción. Además, se pueden conectar a través de un amplificador a un altavoz para utilizarlos como alarmas y sirenas electrónicas.

Véase **Circuito eléctrico; Condensadores y resistencias; Osciloscopio y Oscilógrafo; Radiocomunicaciones**



Aquí debajo, encendedor con sistema de encendido piezoeléctrico: el choque de un pequeño objeto contra el cristal produce una descarga eléctrica de duración muy corta pero muy intensa, de hasta 8.000 voltios. Los materiales piezoeléctricos se utilizan en la realización de transductores; es decir, convertidores de energía de una forma a otra (por ejemplo, energía mecánica en energía eléctrica, o energía eléctrica en energía acústica, etcétera); son transductores los micrófonos, los altavoces, las cápsulas fonocaptoras, etc. Los cristales de cuarzo se utilizan también para estabilizar los osciladores de radio, en la construcción de relojes de cuarzo de alta precisión (porque a ese tipo de reloj no le afectan la gravedad, los choques o las sacudidas) utilizados también en los observatorios astronómicos. Otros materiales piezoeléctricos se utilizan para modular rayos láser. Los principales materiales piezoeléctricos son el cuarzo, el cuarzo sintético, la sal de Rochelle (tartrato de sodio y potasio), cada vez más sustituida por el titanato de bario, la turmalina, el fosfato de amoniaco y algunos materiales cerámicos de reciente producción (titanato, circonato de plomo).

La definición clásica de oscilador es: cualquier sistema físico donde se produzcan oscilaciones (es decir, un movimiento alterno de un cuerpo alrededor de su posición de equilibrio) con una frecuencia propia. Con esta definición no se sobreentienden sólo los osciladores electrónicos como los ilustrados en la página precedente. Existen también osciladores mecánicos, como el péndulo, un muelle del que está colgado un peso o los tubos de un órgano, donde se mueve una columna de aire (foto de la izquierda).



Ditron, S.p.A. Milán - Baguzzi, Fabbri

Osciloscopio y oscilógrafo

Nuestra época es la era de la electrónica. Dependemos de la energía eléctrica para alimentar aparatos —de la radio al ordenador— que utilizamos todos los días, pero no somos capaces de percibir esta forma de energía, presente en todas partes, excepto en determinados casos en que puede ser peligrosa, como en las descargas eléctricas. Por este motivo los técnicos y los ingenieros necesitan instrumentos que les permitan medir corrientes eléctricas, trabajar con la electricidad y proyectar y reparar circuitos eléctricos. El osciloscopio es uno de los instrumentos más importantes de los utilizados con este fin.

La parte central del osciloscopio es un tubo de rayos catódicos. El tipo de tubo de rayos catódicos más conocido es el utilizado en los televisores: un tubo de vidrio cerrado herméticamente, con forma aproximadamente cónica, y del que se ha extraído prácticamente todo el aire. En el extremo estrecho, o cuello, del tubo está el *cañón electrónico*, que emite un haz de electrones hacia el otro extremo del tubo, donde se encuentra la pantalla. Este extremo, mucho más grande, está recubierto en su parte interna de material fluorescente, que emite luz cuando le alcanza el haz de electrones. De esta forma se consigue que el extremo más ancho del tubo sirva de pantalla.

En la mayor parte de los casos se utiliza en los osciloscopios una representación cartesiana, donde la abscisa (horizontal) es una función lineal del tiempo y la ordenada (vertical) es una función lineal de la tensión aplicada: y precisamente de esta manera lo que se obtiene es la representación gráfica de la tensión en función del tiempo.

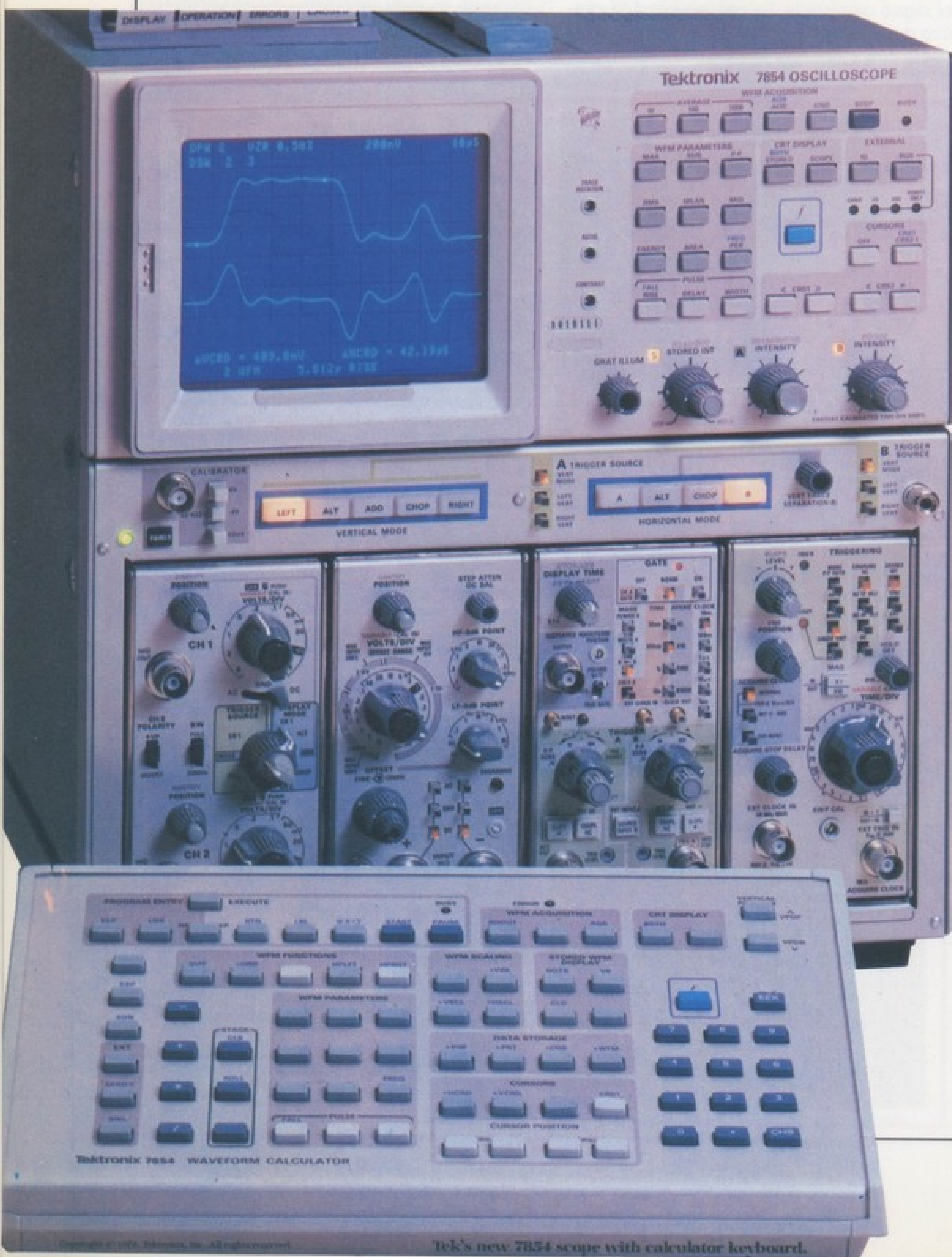
Placas de deflexión A lo largo de su trayectoria desde el cañón a la pantalla, el haz de electrones pasa entre placas metálicas paralelas, o entre yugos. Las placas se pueden cargar positiva o negativamente. Como los electrones tienen carga negativa, si una placa tiene carga positiva atraerá a los electrones, porque las cargas opuestas se atraen mutuamente. De esta forma el haz de electrones sufre una deflexión mayor o menor, dependiendo de la carga de la placa. Si se aplica una carga negativa a la placa opuesta al mismo tiempo, la desviación del haz será mayor, debido a que las cargas del mismo signo se repelen. Si la carga de las placas se hace variar con el tiempo, el punto luminoso que produce el haz al chocar con el fósforo de la pantalla se moverá ostensiblemente por la pantalla.

En un osciloscopio hay dos pares de placas de deflexión. Un par de placas está colocado horizontalmente y puede desviar el haz en sentido vertical. El otro par está colocado en posición vertical y puede desviar el haz en sentido horizontal, de izquierda a derecha. Actuando simultáneamente sobre los dos pares de placas, se puede situar el punto luminoso en cualquier zona de la pantalla.

Corrientes de control Supongamos que la corriente de un circuito varía en función del tiempo. Por ejemplo, la salida de un generador de corriente alterna (alternador) varía sinusoidalmente entre +1 y -1 voltios 50 veces por segundo. Si se aplica esta tensión a las placas de deflexión vertical de un osciloscopio, el punto luminoso de la pantalla se movera de arriba a abajo con un cierto recorrido (correspondiente a 2 voltios) 50 veces por segundo. En este caso se movería tan rápidamente que veríamos una línea vertical de una longitud determinada.

Supongamos ahora que la misma señal se aplica también a las placas de deflexión horizontal. Siguiendo el recorrido del haz con detalle, podemos decir que el punto se mueve al mismo tiempo de izquierda a derecha y de abajo a arriba, y viceversa. Como el movimiento se sigue produciendo con mucha rapidez (50 veces por segundo), se seguirá viendo un segmento, pero en este caso estará inclinado 45 grados respecto a la horizontal.

Si la señal que se aplica a las placas de deflexión horizontal es "en diente de sierra" (es decir, varía repetitivamente de un valor de tensión a otro, con variacíón lineal), se podrá obtener en la pantalla una representación de la señal aplicada a las placas de deflexión vertical en función del tiempo. Si la señal "en diente de sierra" varía también 50 veces por segundo, se podrá ver en la pantalla la imagen de un ciclo de señal sinusoidal, debido a que mientras el punto varía en sentido vertical sinusoidalmente, se mueve al mismo tiempo de izquierda a derecha, produciéndose ambas variaciones simultáneamente y con la mencionada rapidez de 50 veces por segundo.



De acuerdo con los principios fundamentales esbozados, los osciloscopios se pueden utilizar para obtener representaciones gráficas de variaciones de tensión, o "formas de onda", prácticamente en cualquier circuito. Midiendo el tamaño de las gráficas obtenidas, o trazos, con ayuda de una retícula superpuesta en la pantalla, se pueden determinar los valores de la tensión y de la frecuencia de las señales eléctricas.

Algunos osciloscopios tienen dos o más amplificadores de entrada, de forma que se pueden comparar directamente en la pantalla dos o más señales. Sin embargo, la mayor parte de los tubos multitrazo se basa en el reparto en el tiempo de un único cañón electrónico entre las distintas señales de entrada. Normalmente el reparto de tiempo se hace de forma tan rápida que parece que todos los trazos se generan al mismo tiempo. Estas técnicas (y otras) hacen que el osciloscopio sea un instrumento indispensable para los ingenieros en electrónica.

Como ejemplo simple, supongamos que un amplificador estéreo produce distorsión. El técnico puede aplicar una señal de forma conocida a la entrada del amplificador y examinarla en distintos puntos del circuito con un osciloscopio, para ver cómo se comporta la señal a medida que pasa por las distintas etapas del amplificador. En el punto donde la señal tenga características muy diferentes a la de referencia, se sabe que hay un componente defectuoso.

El oscilógrafo Al osciloscopio le falta una función necesaria en determinadas aplicaciones: algunas veces son útiles los registros permanentes de los fenómenos. El aparato que produce este tipo de registros se llama *oscilógrafo*.

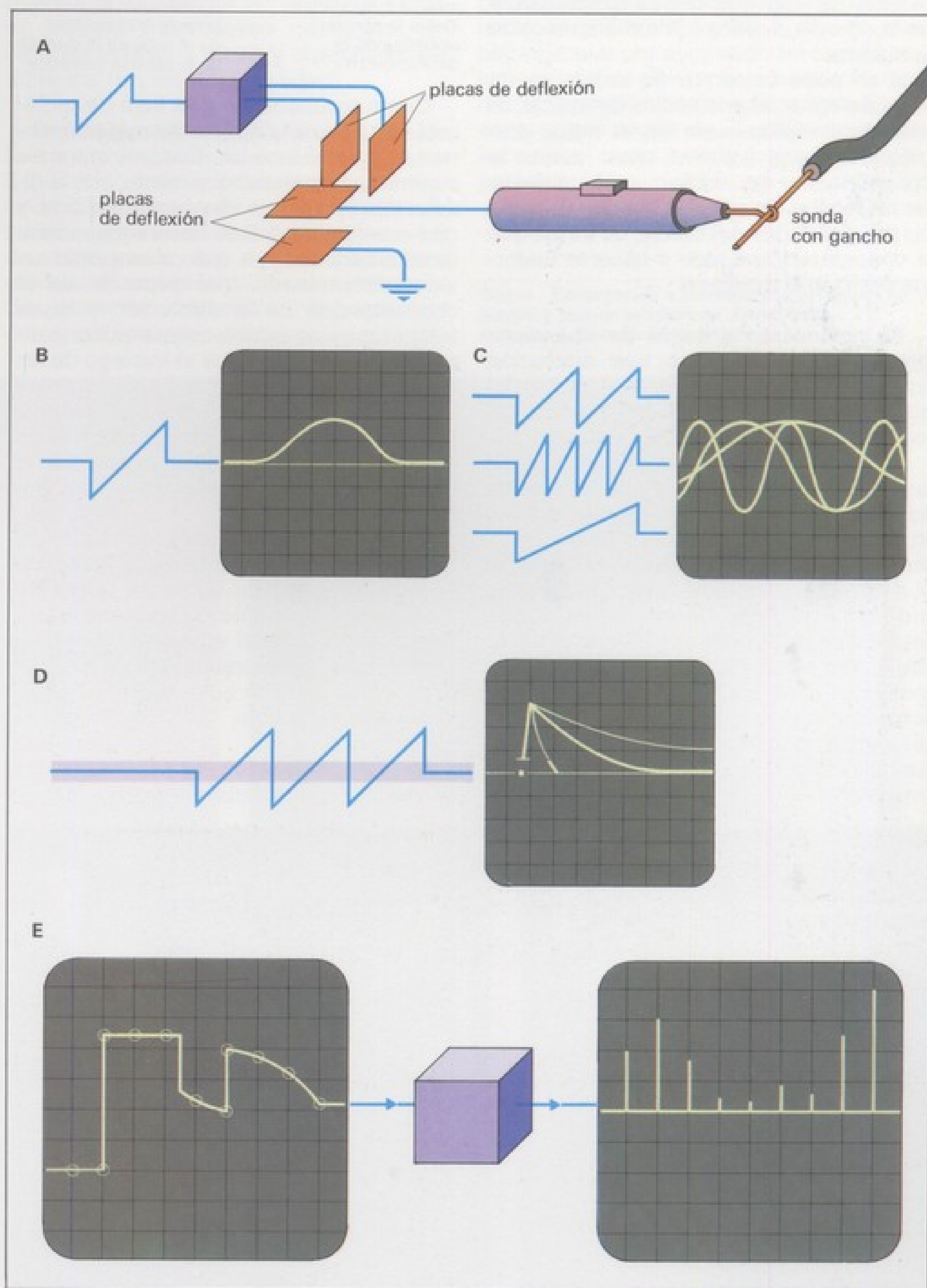
Un oscilógrafo puede estar constituido por un osciloscopio y una cámara fotográfica que registra las imágenes que aparecen en la pantalla.

El oscilógrafo también puede "escribir" la señal con una bobina de hilo conductor, dentro de un campo magnético, que se mueve en función de la corriente que circula por ella. La bobina está unida a una pluma que se apoya en un papel, que se mueve con velocidad constante. Con las variaciones de la corriente se producen movimientos transversales al desplazamiento del papel, reproduciendo la señal. Un ejemplo de oscilógrafo es el electrocardiógrafo, que registra el electrocardiograma para el diagnóstico de enfermedades cardiacas.

Otro tipo de oscilógrafo utiliza luz en lugar de tinta para realizar el registro. Y es que dicho modelo presenta una curiosa forma de registrar: en vez de la pluma tiene, unido a la bobina, un espejo donde se refleja un fino haz de luz hacia una película fotográfica en movimiento. Los movimientos de la bobina hacen que el haz de luz trace la gráfica de variación de la corriente sobre la película, que después se revela normalmente. Una aplicación comercial de este galvanómetro de espejo, ligeramente distinta, es la grabación óptica del sonido en las películas de cine.

Una diferencia importante entre osciloscopio y oscilógrafo es que el primero es mucho más sensible a variaciones rápidas de la señal que el segundo. Esto se debe a que el oscilógrafo tiene que mover objetos físicos (el espejo o la pluma), con una masa y por tanto con inercia. En cambio el osciloscopio tiene que mover sólo electrones, que tienen una masa insignificante.

Véase **Electrónica; Tubo de rayos catódicos**



En la página anterior, un osciloscopio de alta frecuencia, de doble trazo y con un microprocesador de control. El osciloscopio es el aparato de medida más útil en ectrónica para las medidas más variadas. Como éstas pueden ser de cualquier tipo, a menudo tiene algunas funciones básicas y accesorios para conectarle. En el cuadro bajo estas líneas hay varias de las mediciones que se pueden efectuar con el osciloscopio. En A, forma de tomar la señal: una sonda de gancho se pone en contacto con el conductor donde se encuentra la señal que se intenta visualizar. De la sonda se lleva a las placas de deflexión vertical (placas horizontales) del tubo de rayos catódicos. Las placas verticales, que aseguran la deflexión horizontal, están alimentadas por el generador de tensión "en diente de sierra" (a la izquierda). En B, transitorio simple en campana. En C aparecen varias formas de una misma onda sinusoidal, variando únicamente la frecuencia del "diente de sierra". En D, el *trigger*: se observa un solo impulso, haciendo que el "diente de sierra" se genere sólo cuando la señal alcanza un nivel de tensión predeterminado. En E, una forma de onda compleja se descompone con el análisis de Fourier. En la pantalla de la derecha se puede ver el conjunto de armónicos cuya suma reproduce la onda de partida.

Osmosis

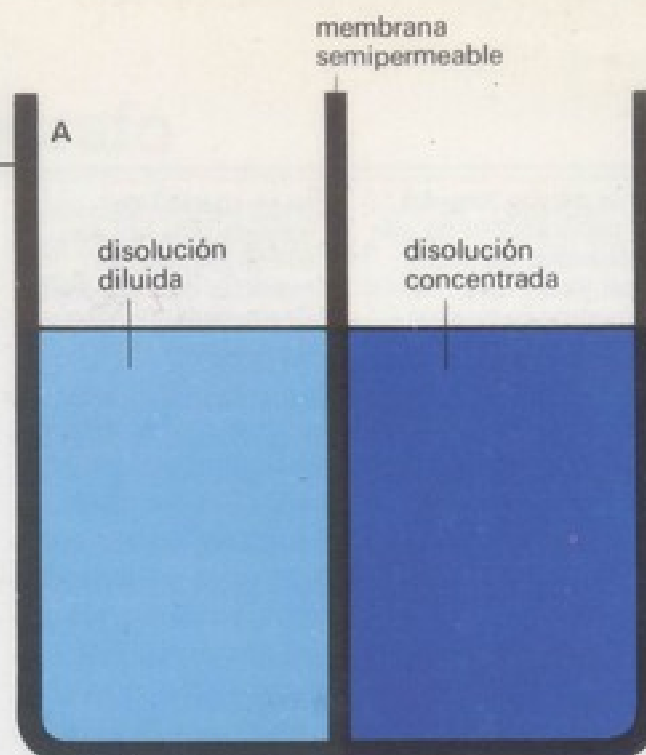
Aunque el mundo que nos rodea parece estático, está en realidad en continuo movimiento: cada sustancia está formada por átomos y moléculas, diversamente ligadas entre sí, pero en constante vibración y rotación. Las sustancias cuyos átomos o moléculas vibran sobre un mismo plano constituyen los sólidos; las sustancias cuyos átomos o moléculas, además de vibrar, están también en movimiento constituyen los líquidos y los gases. La velocidad a la que estas moléculas se mueven depende de la temperatura a la que se encuentran: por ejemplo, el agua se hace vapor a alta temperatura y hielo a baja temperatura.

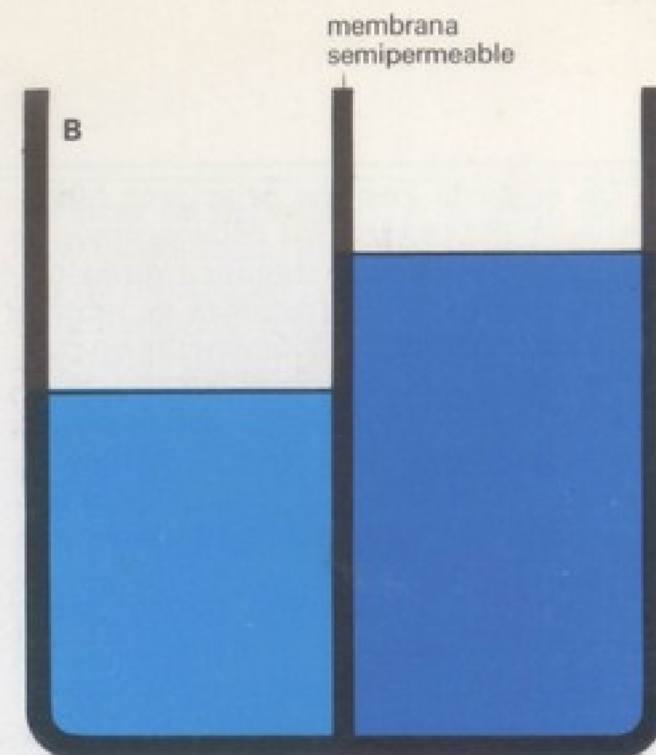
Las moléculas tienden a distribuirse de manera uniforme dentro de un volumen determinado: por este motivo se puede advertir el olor que se expande desde una botella abierta al interior de una habitación cerrada. Este movimiento no requiere energía sino que deriva simplemente de la *energía cinética* (de movimiento) de la materia.

Si se pone un terrón de azúcar en un vaso de agua, las moléculas de azúcar se dispersan rápidamente en el agua, dirigiéndose hacia aquellas zonas donde la concentración es menor; análogamente, las moléculas de agua se desplazan hacia las proximidades del azúcar, de forma que la concentración tiende a hacerse uniforme en todo el volumen.

El movimiento a través de una membrana Si el azúcar o una disolución acuosa de esta sustancia se separa del agua mediante una membrana permeable, los hechos transcurren de la misma forma.

Sin embargo, cuando se emplean *membranas semipermeables*, el azúcar u otros solutos cuyas moléculas tienen un diámetro medio superior al de los poros de la membrana quedan atrapados a un lado de la misma. Pero las moléculas de agua, debido a su pequeño tamaño, atraviesan la membrana semipermeable y diluyen la disolución de azúcar. Este trasiego de las moléculas de agua a través de una membrana de este tipo desde las disoluciones diluidas hacia las concentradas, es decir, hacia las que contienen más soluto, se llama *ósmosis*.





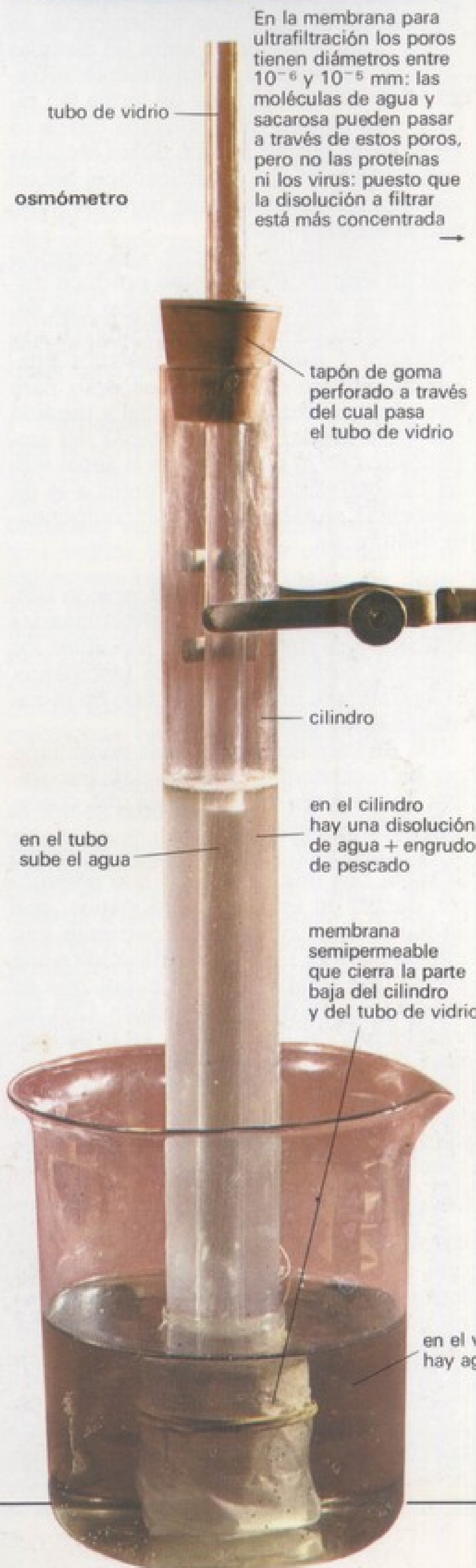
Desde la disolución menos concentrada, el agua pasa espontáneamente, por ósmosis, a través de la membrana semipermeable (A) hasta lograr que la presión hidrostática iguale la presión osmótica de la disolución (B).

Por la misma razón (fotografía inferior), el saquillo (membrana semipermeable) se hincha por el paso del agua a su interior. Al lado se puede ver un sencillo osmómetro: el empuje hisdrostático en el tubo da la medida de la presión osmótica.

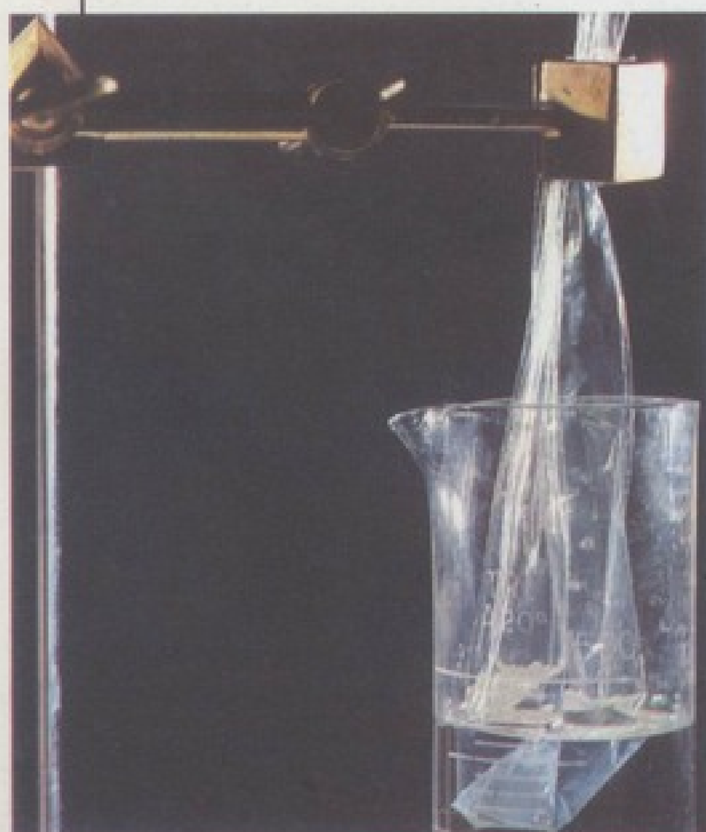
Como resultado de este flujo de moléculas de agua a la disolución más concentrada, se establece un desnivel entre las superficies libres del disolvente y de la disolución (o de una disolución diluida y otra concentrada). Este desnivel no crece indefinidamente, ya que, alcanzando un valor determinado, que depende de la concentración de la disolución y de la temperatura, se establece un equilibrio dinámico de tal forma que el trasiego de las moléculas de agua a través de la membrana es el mismo en uno y otro sentido. Llegado este punto, se produce un estado de equilibrio y la presión ejercida por la disolución sobre la membrana se denomina "presión osmótica".

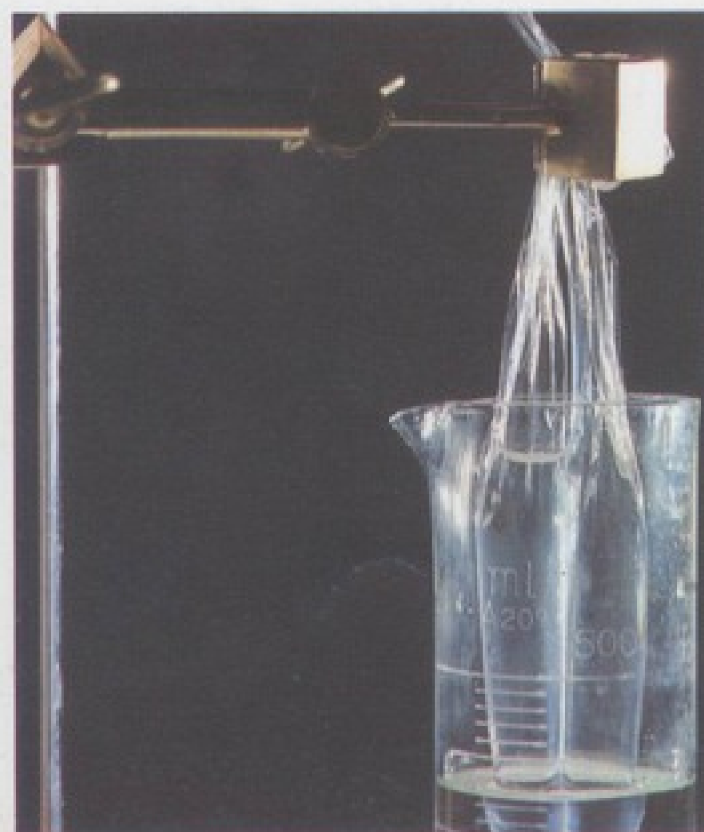
Esta se determina valorando la presión hidrostática correspondiente al desnivel entre las superficies libres de la disolución y del disolvente en un *osmómetro*. Esta presión es igual y de sentido contrario (de ahí el equilibrio dinámico) a la que provoca el paso de agua desde el disolvente a la disolución.

La compensación osmótica en las células En las células vegetales, las pa-



En la membrana para ultrafiltración los poros tienen diámetros entre 10^{-6} y 10^{-5} mm: las moléculas de agua y sacarosa pueden pasar a través de estos poros, pero no las proteínas ni los virus: puesto que la disolución a filtrar está más concentrada →





redes celulares de naturaleza celulósica son ligeramente rígidas. Debido a la presión osmótica, el agua penetra a través de las membranas celulósica y citoplasmática, llegando hasta el citoplasma. La célula se hincha hasta el límite permitido por la membrana celulósica, estando así en condiciones de soportar el peso de la planta. La presión osmótica aplasta la membrana citoplasmática contra la pared celulósica evitando así que penetre un exceso de agua en el interior de la célula. Cuando, por el contrario, afluye poca agua a la planta (defecto de riego) las hojas se marchitan o se vuelven lacias, fenómeno éste opuesto a la *turgescencia* o hinchamiento de las células.

Las células animales no disponen de pared rígida como las vegetales, ni de sistema de control para que no penetre exceso de agua en el citoplasma. Sin este mecanismo de control y disponiendo tan sólo de la membrana citoplasmática, estas células tenderían a hincharse indefinidamente hasta producirse la ruptura de la membrana, fenómeno conocido con el nombre de *citólisis*. Esto ocurre con los glóbulos rojos cuando se echan unas gotas de sangre en agua.

Pero en los organismos vivos normales no se produce la citólisis. Para contrarrestar los efectos osmóticos, los organismos unicelulares disponen de vacuolas contráctiles que bombean el agua sobrante a través de la membrana, manteniéndose así el equilibrio. En los peces, mamíferos y otros animales el exceso de agua es eliminado en forma de orina o, como en el caso del hombre, también por la sudoración.

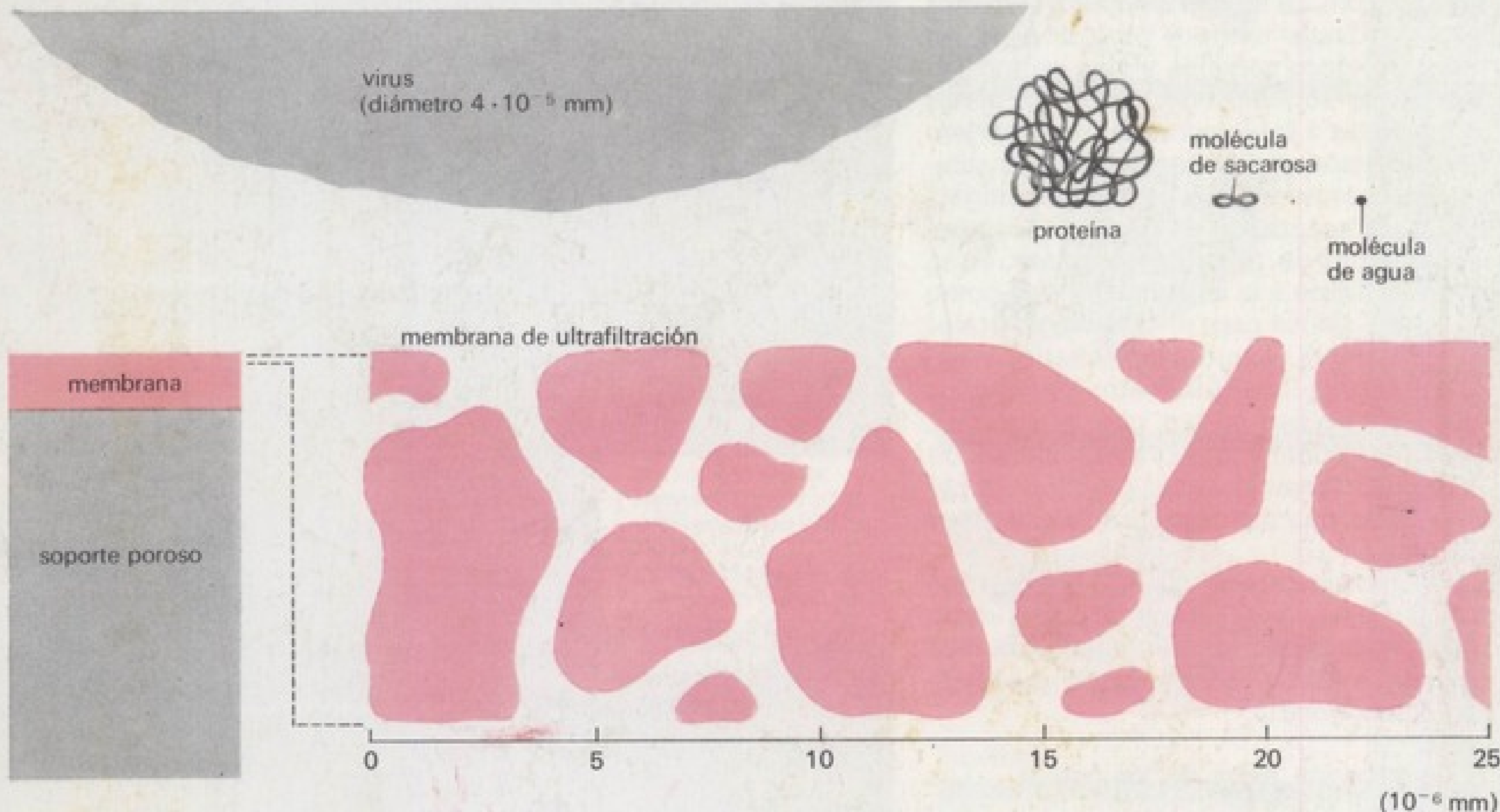
Fuerza de la presión hídrica La cantidad de agua en la disolución se determina por la concentración de soluto (sustancia disuelta) en dicha disolución. Si la disolución que rodea a una célula tiene mayor concentración de soluto que la existente en el interior de la misma, se dice que dicha disolución es *hipertónica* respecto al citoplasma de la célula. En consecuencia se produce una transferencia de agua desde la célula a la disolución, encogiéndose la misma. Este fenómeno celular se denomina *plasmólisis* y en el caso de que la célula no pueda recuperar el agua, muere. Los organismos animales ante estos hechos dan la voz de alarma estimulando la sensación de sed.

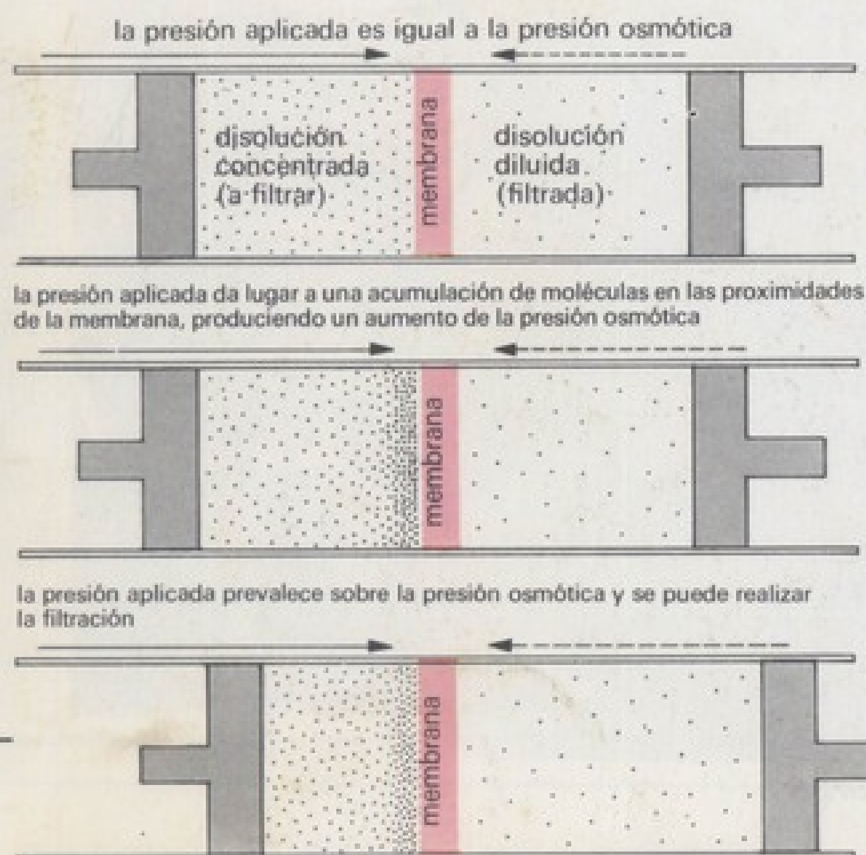
Una disolución exterior a una célula es *hipotónica* respecto al citoplasma de la misma, cuando la cantidad de soluto por unidad de volumen, es decir, la concentración es menor en la disolución. En este caso, como ya se ha dicho anteriormente, el agua penetra a través de la membrana y el volumen de la célula aumenta (turgescencia), llegando a producirse, si el proceso no se regula, la ruptura de la membrana celular (citólisis).

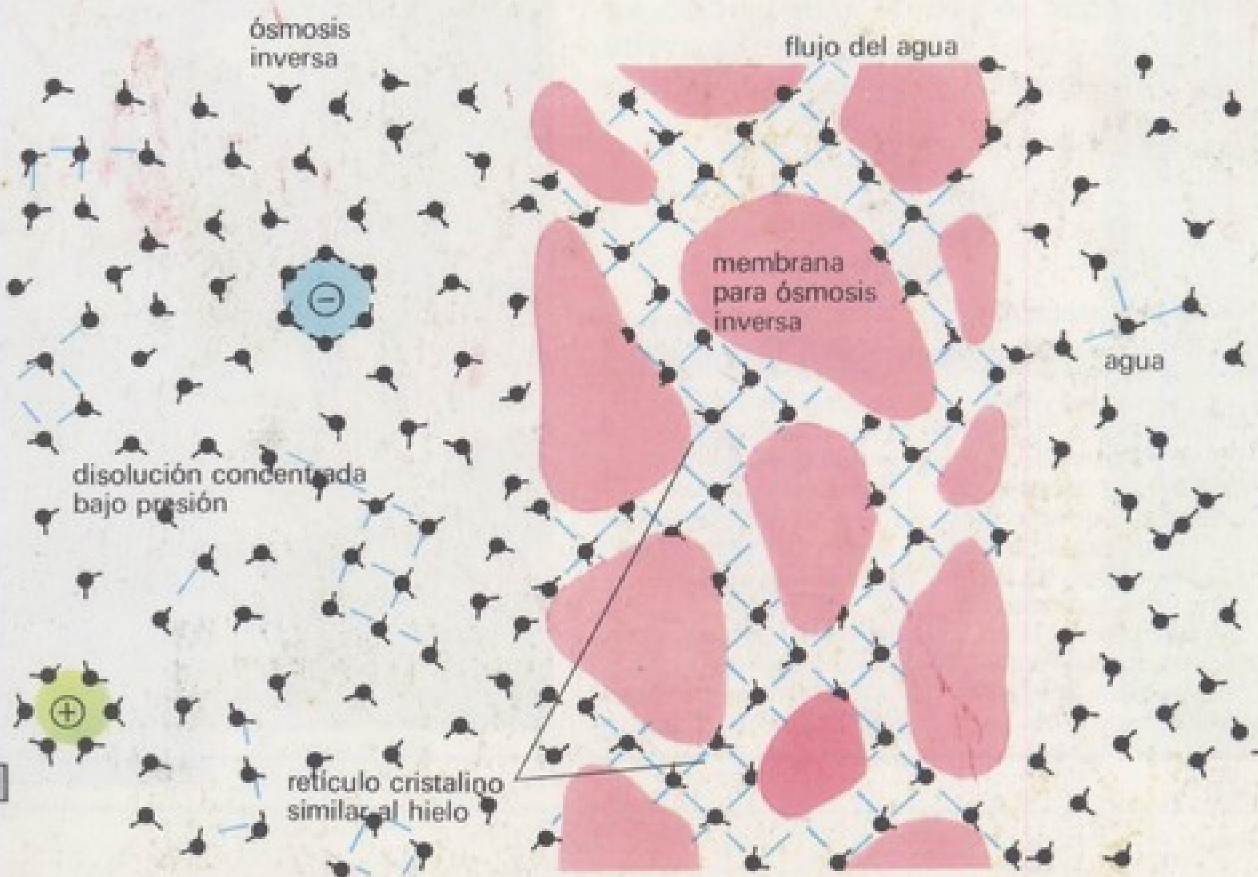
Si la concentración del citoplasma y la del medio exterior son iguales, se dice que ambas disoluciones son *isotónicas*. En este caso el fenómeno de la ósmosis transcurre con la misma intensidad en ambos sentidos. Los sueros intravenosos que se dosifican a los enfermos tienen que ser isotónicos con el plasma sanguíneo con el fin de no provocar trastornos en el organismo.

Véase **Agua; Célula; Filtro y filtración; Presión**

→ que la disolución filtrada, la presión osmótica tiende a empujar el agua a través de la membrana; y es necesario entonces aplicar una presión que supere a la presión osmótica. Cuando se hace pasar una disolución acuosa a través de una membrana, del tipo de la dibujada debajo a la derecha, de forma que pase sólo el agua, se tiene la ósmosis inversa. Esta membrana está constituida de forma que sólo permite el paso de las moléculas de agua, es decir, adquiere una estructura cristalina similar a la del hielo que bloquea el paso de cualquier otra molécula.







Ovino, ganado

Como la mayor parte de los bóvidos, los ovinos son animales rumiantes que regurgitan el alimento, parcialmente digerido, para volver a masticarlo. Este original método de admisión del alimento requiere un complejo estómago dividido en cuatro compartimentos: panza, redecilla, libro y cuajar. La panza es la parte más voluminosa y constituye una cámara de fermentación anaerobia de la celulosa, donde se produce la mezcla del alimento con líquido rico en bacterias. Estas bacterias transforman el alimento (hierba, heno, pienso) en materiales nutritivos digeribles, que van pasando en pequeñas cantidades a la redecilla, de forma más o menos esférica; seguidamente, el alimento es regurgitado a la boca mediante contracciones peristálticas, y allí es remasticado (rumia). El bolo alimenticio originado penetra de nuevo en el estómago, va al libro y de allí al cuajar. La digestión sigue en el intestino, que es muy largo.

El ganado ovino en la historia Los ovinos figuran entre los primeros grupos de animales domesticados. La oveja, al igual que la cabra, se ha domesticado, al menos en Asia, desde tiempos prehistóricos, en que los ovinos salvajes vivían en todo el hemisferio septentrional desde las zonas montañosas a las llanuras. Su sorprendente adaptación a la domesticación constituyó una enorme ventaja para la humanidad, que tenía asegurado un constante aprovisionamiento de proteínas y grasas, en lo que concierne a la alimentación, así como de lana y pieles para el vestido. Al poder ser fácilmente reunidos en rebaños y llevados de una localidad a otra, los pueblos nómadas podían migrar con una segura, fresca y portátil reserva de alimentos. Todo esto permitió a esos pueblos ocupar y explotar muchas regiones nunca antes ocupadas.

La domesticación de los ovinos trajo otra ventaja a nuestros antepasados: les indujo a abandonar la vida nómada y la caza para dedicarse al desarrollo de una civilización sedentaria.

Constitución física de los ovinos Los ovinos son mamíferos robustos cuyo peso oscila, según el tipo de alimentación, entre los 40 y los 130 kg. Sus hocicos velludos son estrechos y divididos en la parte baja por una evidente fisura. Tienen labios muy versátiles que les permiten escoger y arrancar en un campo de hierbas un único trébol o devorar todo el pasto de una colina dejando al final sólo la tierra desnuda. Muchos ovinos salvajes tienen cuernos curvados, aunque sólo pocas razas domésticas han conservado este noble ornamento. En una edad comprendida entre uno y dos años los ovinos alcanzan su madurez sexual. La duración de su vida es normalmente breve, de 7 a 10 años, si bien algunas razas pueden alcanzar hasta los 20 años. Los ovinos hembra paren normalmente en otoño o a principios de invierno. El embarazo dura cerca de cinco meses y cada oveja suele parir un solo cordero, aunque en un 16% de los casos se paren gemelos. Si bien los corderos aprenden a comer la hierba desde la primera semana de vida, continúan siendo lactados por un período de tres a cinco meses. A continuación se indican las principales razas de ovejas domésticas, los lugares de mayor difusión y la principal producción:

- Para carne y lana: *aragonesa* (región aragonesa, España), *lincoln* (Gran Bretaña), *merina* (extendida por todo el mundo), *corriedale* (América y Australia) y *Southdown* (Gran Bretaña y Estados Unidos).
- Para carne, lana y leche: *castellana* (Zamora, Valladolid y Burgos, España), *churra* (norte y sur de España), *lacha* (región vas-









En las dos fotografías de arriba se puede apreciar el aspecto que presentan, vistas al microscopio, dos muestras distintas de carne de cordero: la primera corresponde a un corte practicado en la dirección de las fibras longitudinales, que aparecen claramente definidas, mientras que la segunda corresponde a un corte oblicuo de las mismas y permite observar la forma en que las franjas musculares se ensamblan. En el centro, un carnero (macho de la oveja) y abajo, carneros grises de raza karakul, en el abrevadero. Por lo general, los ovinos son animales muy pacíficos, aunque saben cómo →

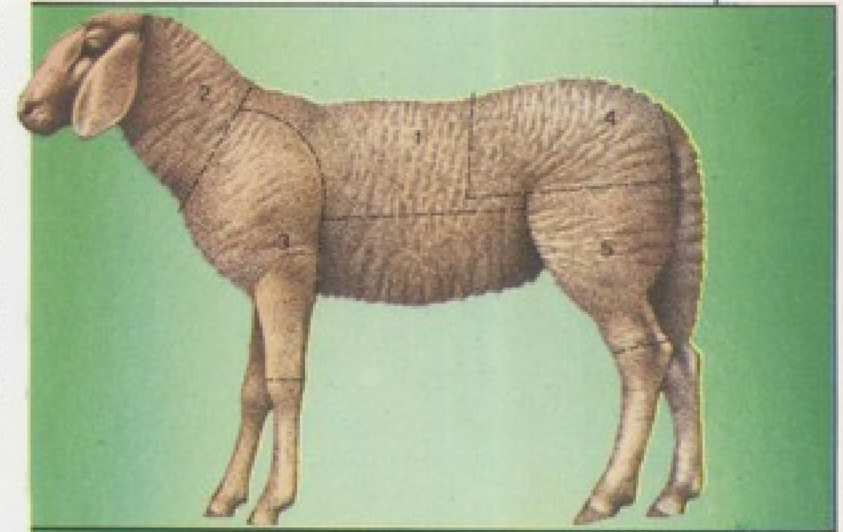
co-navarra, España), *manchega* (región manchega, España) y *Sopravissana* (Italia central).

- Para leche: *frisona* (Holanda y Dinamarca).
- Para carne: *Hampshire* (Gran Bretaña y Estados Unidos).
- Carneros para pieles: *Karakul* (Uzbekistán, Unión Soviética).

Desde el punto de vista económico, el ganado ovino tiene pues importancia, sobre todo en cuanto a la producción de carne y lana. Existen considerables cabañas de ovinos en Australia, en América y en varios países europeos.

Aunque de menor relevancia, hay que mencionar también la producción de leche y productos derivados. La cría de ganado ovino productivo requiere buenos pastos y abundante agua. Su dieta debe contener un 95% de fibra vegetal (para rumiar) consistente en pequeños y delicados forrajes, como leguminosas ricas en proteínas. Los ovinos necesitan además de dos a ocho litros de agua al día, cantidad variable según la dieta y las condiciones climáticas. No obstante, en condiciones extremas pueden pasar sin agua muchos días. Esto hace de los ovinos un verdadero símbolo de riqueza para los habitantes de las zonas áridas.

Véase **Bobino, ganado; Lana; Zootecnia**



Características	Cordero	Cabra
Color	blanco o rosado	rojo-negro
Consistencia	blanda	compacta, dura, coriácea
Corte	poco resistente, de grana fina, nunca jaspeada	resistente, de grana gruesa no jaspeada
Olor	débil, que recuerda a la leche, a veces incluso agrio	almizclado
Grasa	grasa de envoltura escasa; grasa interna blanca, compacta; grisácea azafranada en los mal nutridos	la grasa de envoltura falta a menudo; grasa interna blanca-amarillenta o amarilla
Superficie articular	azul-plomiza	rosada-oscura
Constitución anatómica	haces musculares finos, flojos, reunidos en tejido celular blando	fibras musculares cortas, serradas en franjas largas y finas
Cocción	rápida; sabor desabrido y débilmente aromático	lenta; sabor almizclado poco agradable

→ defenderse en caso de ser atacados o si alguna de las crías del rebaño se encuentra en peligro. En este último caso, una oveja suele hacerse cargo del pequeño mientras el resto del rebaño rodea y carga sobre el intruso. Aunque no son muy inteligentes, muestran una especial sensibilidad ante los cambios meteorológicos: sus cuerpos son extremadamente sensibles a los cambios de la presión atmosférica, de forma que pueden prever la inminencia de un temporal incluso antes de que los hombres lleguen a sospecharlo. El sector cárnico ovino no ha sido nunca muy floreciente y las previsiones de futuro no son muy prometedoras por dos razones en particular: la disminución de la cabaña ovina y los fuertes prejuicios en lo que concierne al valor real nutritivo de la carne, así como la necesidad de importarla en el momento de la subida del consumo. El consumo principal está orientado al cordero lechal (cerca del 70%), cordero blanco (cerca del 15%), castrado y oveja (15%). El cordero de leche es matado antes de cumplir los dos meses de vida; tiene la carne muy tierna, rosada, casi sin grasa. El cordero blanco es sacrificado después de los cien días de vida, su carne tiene casi las mismas características que las del cordero lechal. En las tablas, a derecha e izquierda, se indican los caracteres distintivos de las carnes de cordero y de cabra, así como el mejor modo de cocinarlas.

Cortes de la carne	Uso
Carré	Parte anterior del lomo, de alto valor comercial, se prepara generalmente asada
Cuello	Pedazo muy económico, puede servir para estofado o pinchos
Espaldilla	Parte superior del muslo anterior, entera, con el hueso, se prepara asada; deshuesada sirve para estofado o asados
Costillar	Trozo apreciado, se prepara entero asado, pero se pueden hacer también chuletas
Pierna	Parte muy apreciada, rica en carne con un mínimo de desperdicio, puede asarse o prepararse en filetes

OVNI (UFO)

A las 17h 20' del 10 de octubre de 1966, una joven madre de Newton, en Illinois, oyó los gritos excitados de sus hijos. Cuando acudió al patio donde estaban, vio un aparato de metal, en forma de cigarro, que oscilaba a unos 15 metros del suelo. Parece ser que el objeto tenía unos 6 metros de largo y unos 2,5 metros de ancho y que estaba rodeado de un halo de color azul brillante. Como respondiendo a una señal, se levantó repentinamente y desapareció a una velocidad increíble.

En Sao Paulo, en Brasil, en el mediodía del 10 de septiembre de 1967, tres pescadores vieron un "platillo volante", asistieron a su caída al mar y, más tarde, recuperaron algunos de sus trozos. Después de los análisis químicos efectuados a estos restos, se dijo que la estructura era de magnesio, de pureza superior a la que se obtiene con los procesos utilizados normalmente, lo que dio lugar a que se planteara la posibilidad de que el aparato fuese extraterrestre.

Historia de los ovnis Los descritos anteriormente son sólo dos de los millones de informes que han sido redactados sobre ovnis desde finales de los años cuarenta. Sin embargo, la preocupación del hombre por las visitas procedentes del espacio se remonta a la Edad Media, e incluso a tiempos más antiguos. Cometas y estrellas fugaces eran, en aquellos tiempos, causa de gran temor para la gente, y los libros de historia estaban llenos de insólitos acontecimientos celestes. Pero en 1947, el fenómeno ovni adquirió rápidamente popularidad como resultado de una repentina oleada de supuestos avistamientos, la mayor parte de los cuales se produjo en Estados Unidos. En un primer momento, los objetos eran conocidos como "platillos volantes", aunque poco después, el departamento de Aeronáutica de los Estados Unidos, que empezó un estudio del fenómeno conocido como "Proyect Flying Book", les dio el sobrenombre de OVNI, es decir Objeto Volador No Identificado.

Explicación de los ovnis Mientras que algunos científicos sostienen que hay algo de verdad en la existencia de los aparatos espaciales extraterrestres, la opinión científica general opina que algunas de las supuestas apariciones de ovnis pueden ser explicadas como fenómenos de reflexión de la luz, gases, meteoritos, globos, e incluso espejismos. Además,



existe una insólita falta de datos que validen la presencia de esos objetos por parte de los radares u otros sistemas de vigilancia. No obstante, algunas fotos de ovnis superan todo intento de dar explicaciones sencillas. Además, los casos de los que existen informes oficiales no corresponden al número efectivo de visiones, ya que algunos sondeos efectuados indican que muchas personas son reacias a contar experiencias de este tipo. Las visiones, que en 1947 fueron sólo unas ochenta, hoy en día son miles al año y

proceden de muchas partes del mundo. Además de en Estados Unidos, cuyo interés por la materia siempre se ha mantenido vivo, el estudio de los ovnis es muy popular en Gran Bretaña, Canadá y Checoslovaquia. Aparatos sofisticados, como máquinas fotográficas "todo cielo" y satélites, siguen recogiendo nuevas informaciones sobre estos fenómenos. En 1968, el interés por los ovnis creció hasta tal punto que el departamento de Aeronáutica de los Estados Unidos ofreció un curso de estudio en la Universidad de Colorado, dirigido por un físico muy conocido, E. U. Condon. Treinta y siete científicos estudiaron 59 casos, llegando a la conclusión de que no era necesario continuar el proyecto. Sin embargo, la sospecha continúa. Han sido publicados más de cincuenta volúmenes, junto a centenares de artículos aparecidos en revistas que contienen informaciones nuevas y puestas al día sobre los ovnis. Surgen asociaciones cuyos miembros se intercambian historias y fotografías. Mientras que la realidad no permite ninguna certeza, miles de personas, en todo el mundo, están convencidas de que no estamos solos en el Universo, y continúan dirigiendo la mirada hacia el cielo, en busca de una confirmación.

En la página anterior, arriba, una fotografía de avistamiento de dos ovnis en la cordillera de los Andes, en Argentina. Podría tratarse de nubes iluminadas por las luces del crepúsculo. Abajo, algunos de los fenómenos naturales o humanos que se pueden confundir con acontecimientos misteriosos: 1) un planeta muy luminoso en el crepúsculo, cuando se cree que ya no son visibles los astros y por lo tanto la aparición parece insólita; 2) nubes lenticulares; 3) rarísimas nubes relucientes de noche; 4) un globo sonda en su vuelo a alta cota; 5) un cometa; 6) un satélite artificial (hay miles de ellos en órbita, algunos pueden haberse salido de la trayectoria normal y acercarse a tierra); 7) un meteorito; 8) un rayo globular; y 9) un avión que realiza maniobras insólitas.



Algunos aviones para estudios meteorológicos disponen de potentes faros para iluminar las nubes que, en capas finas, serían casi invisibles por la noche. Mientras vuelan, el haz del faro sigue al punto fijo en el que se ve el reflejo; después de haberlo superado, desplazan la luz del faro hacia delante en busca de otra nube. Estas maniobras pueden resultar muy sorprendentes para un observador que las desconozca, sobre todo porque causan el efecto de elevadísimas velocidades.

Oxidación y reducción

Una de las reacciones químicas más frecuentes en la Naturaleza y con la que estamos más familiarizados es el proceso de oxidación. En la vida cotidiana tienen lugar numerosos procesos cuyo origen se basa en reacciones de este tipo. Unos se desarrollan lentamente, como es el caso de un trozo de hierro que se enmohece a la interperie, otros más rápidamente, como sucede con la piel de una manzana recién pelada, y algunos incluso de forma violenta, como la combustión que va a acompañada de desprendimiento de calor y a veces de luz.

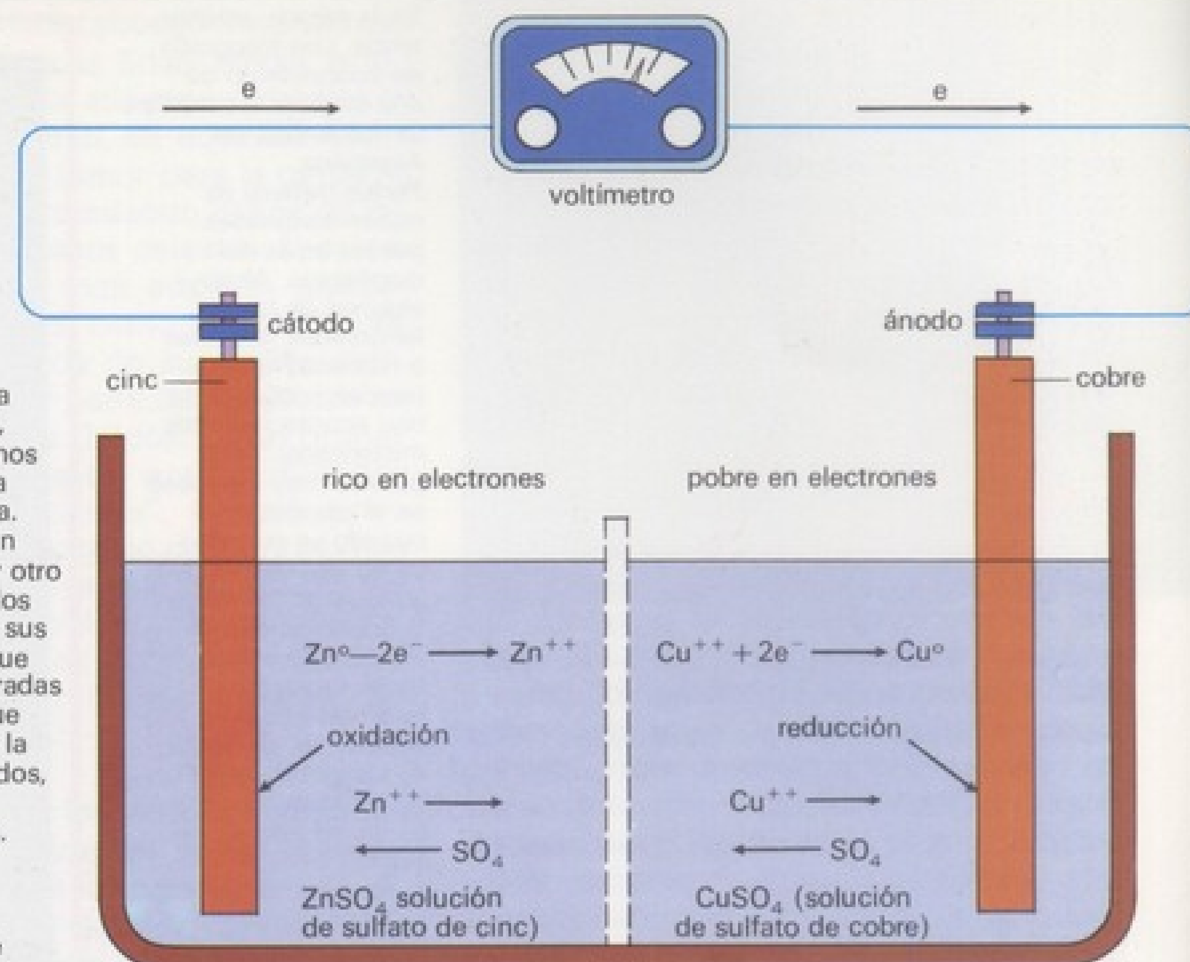
Dos son las razones que hacen de la oxidación un proceso tan frecuente. Por una parte, el oxígeno es un elemento muy abundante en la atmósfera, donde se encuentra en una proporción del 21%; por otra, posee una estructura molecular que le hace extraordinariamente activo, con una tendencia a combinarse fácil y rápidamente con una gran variedad de elementos y sustancias.

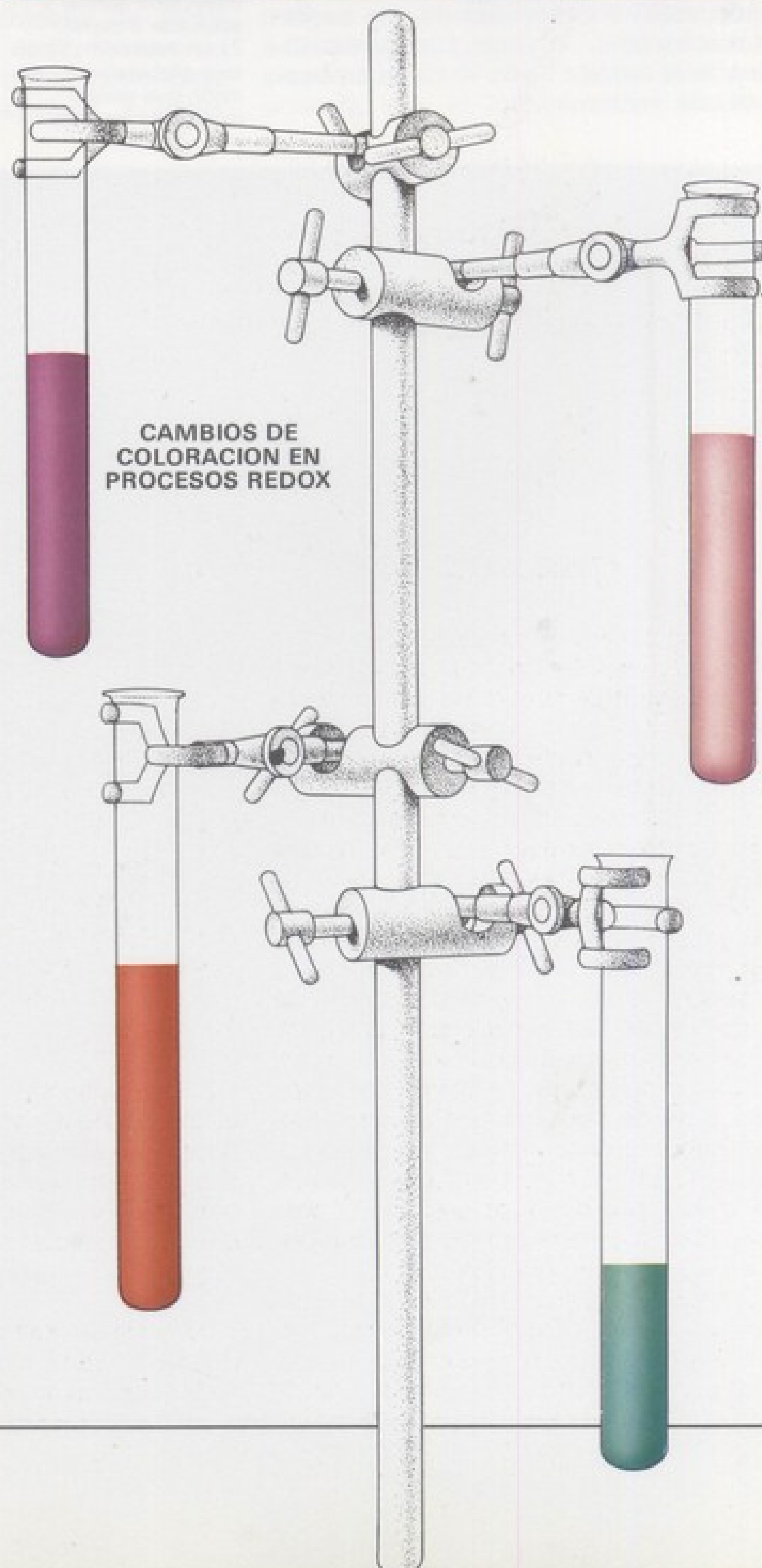
Oxidación y reducción La combinación de oxígeno con un compuesto o elemento simple, o lo que es lo mismo, el aumento del contenido de oxígeno en un cuerpo se denomina *oxidación*. Esta reacción es *exotérmica*, es decir, libera calor. Si el cuerpo no es capaz de liberar o ceder al aire tanto calor como produce mientras se está oxidando, se calienta. Si el proceso continúa puede llegar un momento en que sobrevenga su combustión espontánea, como a veces sucede en basureros o en pajares mal aireados de heno húmedo. Los procesos de combustión requieren, para mantenerse, una enorme cantidad de oxígeno, que toman del aire. Un litro de metano, por ejemplo, necesita para quemarse unos 5.500 litros de aire.

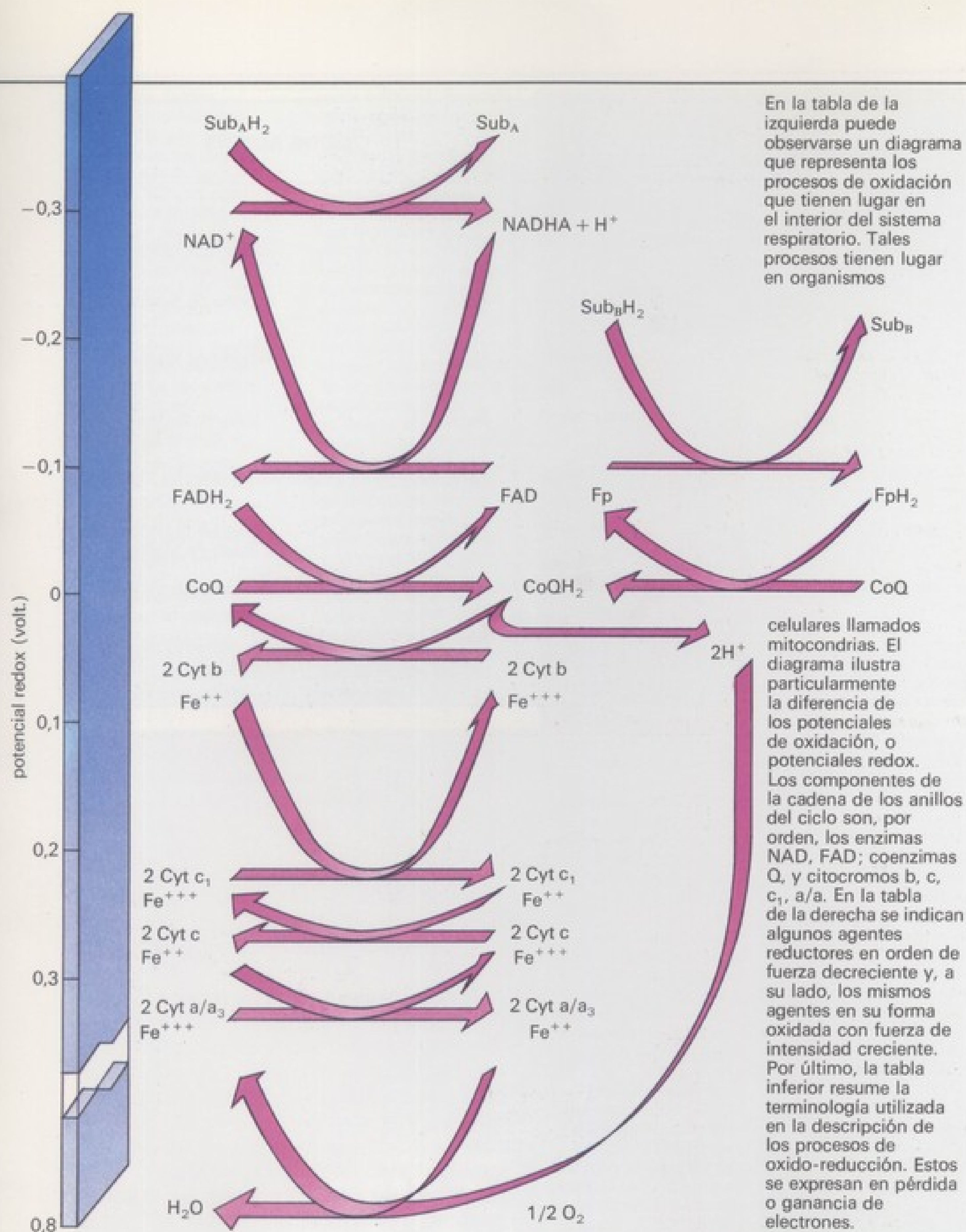
Por el contrario, la disminución de oxígeno en un compuesto se conoce como *reducción*, aunque el término también se aplica a toda reacción química en la cual un elemento se combina con el hidrógeno.

Un punto de vista más amplio Los procesos de oxidación-reducción admiten una interpretación más amplia a la luz de la teoría atómica, ya que las propiedades químicas de los elementos dependen, en definitiva, de su estructura electrónica. De acuerdo con la teoría clásica, en el interior de un átomo se encuentra un núcleo central, formado por protones, que son partículas con masa y carga eléctrica positiva, y neutrones con masa pero eléctricamente neutros. Alrededor suyo orbitan los *electrones* en distintos niveles de energía; cada nivel, o capa, admite un número máximo de electrones. Todo elemento existente en la Naturaleza se caracteriza por el número de electrones que posee, que coincide con el número de protones que hay en su núcleo. Aquellos elementos que tienen su nivel exterior completo, es decir, que poseen todos los electrones posibles, son muy estables y sólo se combinan en condiciones muy especiales. En la Naturaleza, los elementos que presentan

A la izquierda se muestra el esquema de una pila Daniell, basada en los mismos principios de la pila galvánica o voltaica. Está formada por un electrodo de cinc y otro de cobre, sumergidos en disoluciones de sus respectivas sales, que se mantienen separadas mediante un tabique poroso que impide la mezcla de los líquidos, pero permite la migración de iones. Este dispositivo produce energía eléctrica a partir de una reacción de oxidación-reducción que se desdobla en dos procesos electrónicos independientes, uno de reducción del cobre y otro de oxidación del cinc. Estos procesos se verifican simultáneamente, aunque en lugares separados. Si se conectan los dos electrodos mediante un conductor metálico y se intercala un voltímetro, se observa cómo su aguja se desvía, indicando el paso de corriente desde el electrodo de cobre, o ánodo, al electrodo de cinc, o cátodo. El flujo de electrones se desplaza en sentido inverso. Los electrones tienen su origen en la disolución de cinc, al ceder el cinc del electrodo dos electrones y pasar a la disolución en forma de ion cinc. Cuando esos electrones externos alcanzan el ánodo, a través del circuito, transforman el ion cobre en cobre metálico, que se deposita sobre el electrodo. En la cubeta, a través de la pared porosa, tiene lugar un doble flujo de iones: los iones sulfato se desplazan hacia la disolución de sulfato de cinc y los iones cinc en sentido inverso. Mientras, al mismo ritmo que se va disolviendo el cinc del cátodo, afectado por un proceso de oxidación, los iones de cobre se convierten en átomos neutros mediante un proceso de reducción y van depositándose sobre el ánodo.







En la tabla de la izquierda puede observarse un diagrama que representa los procesos de oxidación que tienen lugar en el interior del sistema respiratorio. Tales procesos tienen lugar en organismos celulares llamados mitocondrias. El diagrama ilustra particularmente la diferencia de los potenciales de oxidación, o potenciales redox. Los componentes de la cadena de los anillos del ciclo son, por orden, los enzimas NAD, FAD; coenzimas Q, y citocromos b, c, c_1, a/a. En la tabla de la derecha se indican algunos agentes reductores en orden de fuerza decreciente y, a su lado, los mismos agentes en su forma oxidada con fuerza de intensidad creciente. Por último, la tabla inferior resume la terminología utilizada en la descripción de los procesos de oxido-reducción. Estos se expresan en pérdida o ganancia de electrones.

esta estructura se conocen como *gases nobles*. El resto, es decir, la mayor parte de los elementos conocidos necesitan algún electrón para completar su último nivel, que debe contener (con excepción del hidrógeno y el helio) ocho electrones.

El átomo de oxígeno esta compuesto por un núcleo, formado por ocho neutrones y ocho protones, alrededor del cual orbitan ocho electrones en dos niveles energéticos distintos. Dos de ellos se encuentran en un nivel cercano al núcleo y los seis restantes en un nivel externo. La necesidad de dos electrones para completar esa capa confiere al oxígeno sus especiales propiedades reactivas. Por lo general, trata de conseguirlos de otros átomos que tampoco tengan completa su capa exterior, o lo que es lo mismo, sustrae electrones de otros elementos para completar su nivel externo y acceder a un estado de máximo equilibrio.

Considerando este punto de vista electrónico, se generaliza el concepto de oxidación a todo proceso o reacción en que un elemento experimenta una pérdida de electrones, no siendo imprescindible que el oxígeno esté presente. Dentro de esta definición más amplia, el concepto de reducción también queda modificado, estableciéndose de una forma más general que todo cuerpo se reduce cuando gana electrones.

Reacciones redox Puesto que en la transferencia electrónica que tiene lugar en toda reacción, si un átomo pierde electrones, otro debe ganarlos, todo proceso de oxidación irá necesariamente asociado a otro de reducción; el proceso global es, por lo tanto, de oxidación-reducción o simplemente *redox*. Así, para que un cuerpo se oxide, otro tendrá que reducirse y viceversa, de forma que ambas transformaciones se verifican simultáneamente y en la misma extensión, que dependerá estrictamente de las características de cada una de las sustancias. El cuerpo que se reduce se conoce como *oxidante* y el que se oxida como *reductor*.

En una solución de cobre a la que se añade cinc, tiene lugar una transferencia de electrones entre los dos metales. La estructura electrónica del cinc facilita el escape de electrones, que seran atrapados por el cobre; éste experimentará una reducción, mientras el cinc se oxidará. Esta reacción redox es el fundamento de la pila electroquímica, cuyo descubrimiento por A. Volta en 1800 supuso un avance notable para las teorías eléctricas de la época, y sirvió de inestimable contribución para hacer de la electricidad uno de los pilares de la vida moderna.

	agentes reductores	agentes oxidantes	
fuertes ↓	Li	Li^+	débiles ↑
	K	K^+	
	Ca	Ca^{++}	
	Na	Na^+	
	Mg	Mg^{++}	
	Al	Al^{+++}	
	Zn	Zn^{++}	
	Cr	Cr^{+++}	
	Fe	Fe^{++}	
	Ni	Ni^{++}	
	Sn	Sn^{++}	
	Pb	Pb^{++}	
	H_2	H_3O^+	
	H_2S	S	
	Cu	Cu^{++}	
	I^-	I_2	
	$MnO_4^=$	MnO_4^-	
	Fe^{++}	Fe^{+++}	
	Hg	Hg_2^{++}	
	Ag	Ag^+	
	NO_2^-	NO_3^-	
	Br^-	Br_2	
	Mn^{++}	MnO_2	
	SO_2	H_2SO_4 (conc.)	
	Cl^-	Cl_2	
	Cr^{+++}	$Cr_2O_7^=$	
	Mn^{++}	MnO_4^-	
débiles	F^-	F_2	fuertes

TERMINOLOGIA DE LA OXIDACION-REDUCCION

Términos	Cambio del número de oxidación	Cambio de la población electrónica
oxidación	aumento	pérdida de electrones
reducción	disminución	ganancia de electrones
agente oxidante	disminución	ganancia de electrones
agente reductor	aumento	cesión de electrones
sustancia oxidada	aumento	pérdida de electrones
sustancia reducida	disminución	ganancia de electrones

Véase **Hidrógeno; Oxígeno; Oxo, proceso**

Oxidos

Una pieza de hierro que fuese expuesta al aire de un ambiente húmedo se cubriría lentamente de una capa de moho pardo-rojizo (herrumbre). A temperatura ambiente dicho proceso requeriría bastantes días; a mayor temperatura, en cambio, el proceso es mucho más rápido. En cualquier caso el vapor de agua (ambiente húmedo) acelera la oxidación: aquí el agua hace de catalizador.

La formación de la capa de herrumbre es el resultado de la reacción química del hierro con el oxígeno del aire. Por lo general, el enmohecimiento de un metal, bajo el punto de vista químico, implica la formación de un óxido, es decir, la reacción del metal con el oxígeno atmosférico.

El oxígeno es uno de los elementos más activos, siendo por otra parte uno de los más ampliamente difundidos en la corteza terrestre. Se combina con casi todos los elementos para formar óxidos. Los únicos elementos con los que no se combina son los gases nobles o inertes: helio, neón, argón, kriptón, xenón y radón. Algunos de los óxidos más importantes son el agua (óxido de hidrógeno) y el dióxido de carbono (CO_2) expirado por los animales y absorbido por las plantas verdes en el proceso de la fotosíntesis.

OXIDOS BASICOS		OXIDOS ACIDOS	
FeO	óxido de hierro (II)	Cl_2O_5	pentóxido de dicloro
Fe_2O_3	óxido de hierro (III)	N_2O_3	trióxido de dinitrógeno
K_2O	óxido de potasio	N_2O_5	pentóxido de dinitrógeno
CaO	óxido de calcio	B_2O_3	óxido de boro (III) o anhídrido bórico
MgO	óxido de magnesio	CO_2	dióxido de carbono
ZnO	óxido de cinc	P_2O_5	pentóxido de difósforo u óxido de fósforo (V)
MnO_2	dióxido de manganeso	SO_2	dióxido de azufre
TiO_2	dióxido de titanio	SiO_2	dióxido de silicio

Mientras que el oxígeno reacciona con muchos elementos, como el hierro, en condiciones normales de presión y temperatura, otros elementos como el platino solamente reaccionan con el oxígeno a temperaturas extremadamente elevadas. Muchos de los metales ligeros, como el aluminio y el magnesio, reaccionan rápidamente con el oxígeno atmosférico recubriéndose de una fina película de óxido que se adhiere a la superficie del metal. Dicha película protege al metal de posteriores oxidaciones e impide así su corrosión. El metal mantiene su aspecto metálico, sobre todo si la película de óxido ha sido depositada de forma homogénea mediante un proceso electrolítico denominado *anodizado* (aluminio anodizado).

Entre los gases no inertes, el flúor y el bromo (líquido éste a temperatura ambiente, aunque emite vapores) son los que se oxidan con más dificultad. La oxidación de estos elementos se logró —en los años 30 y 40 respectivamente— en laboratorio y siguiendo técnicas muy especiales.

Nomenclaturas y clasificaciones Un óxido se nombra según el número de átomos de oxígeno que contiene su molécula. Si ésta contiene un solo átomo de oxígeno, se habla de un monóxido, si hay dos se llama dióxido, y si son tres trióxido. Así la molécula de monóxido de carbono, denominado también óxido de carbono, está formada por un átomo de carbono y otro de oxígeno, mientras que la molécula de dióxido de carbono, CO_2 (dióxido de carbono), contiene un átomo de carbono y dos de oxígeno.

Las moléculas de dióxido de azufre (SO_2) y de trióxido de azufre (SO_3) contienen respectivamente dos y tres átomos de oxígeno por cada átomo de azufre. El pentóxido de fósforo (P_2O_5), que resulta de la combustión del fósforo en una atmósfera rica en oxígeno, contiene cinco átomos de oxígeno en cada molécula.

Muchos elementos, como el arsénico, el carbono y el nitrógeno, se combinan con el oxígeno para dar lugar a una gran variedad de óxidos. Así, por ejemplo, el nitrógeno presenta varios óxidos distintos: N_2O, NO, NO_2O_3, NO_2, NO_2O_4, N_2O_5. El NO_2 y el N_2O_4 son transformables uno en otro variando la temperatura: a baja temperatura se obtiene el tetraóxido de dinitrógeno (N_2O_4) el cual se transforma por disociación en dióxido de nitrógeno (NO_2) al aumentar la temperatura.

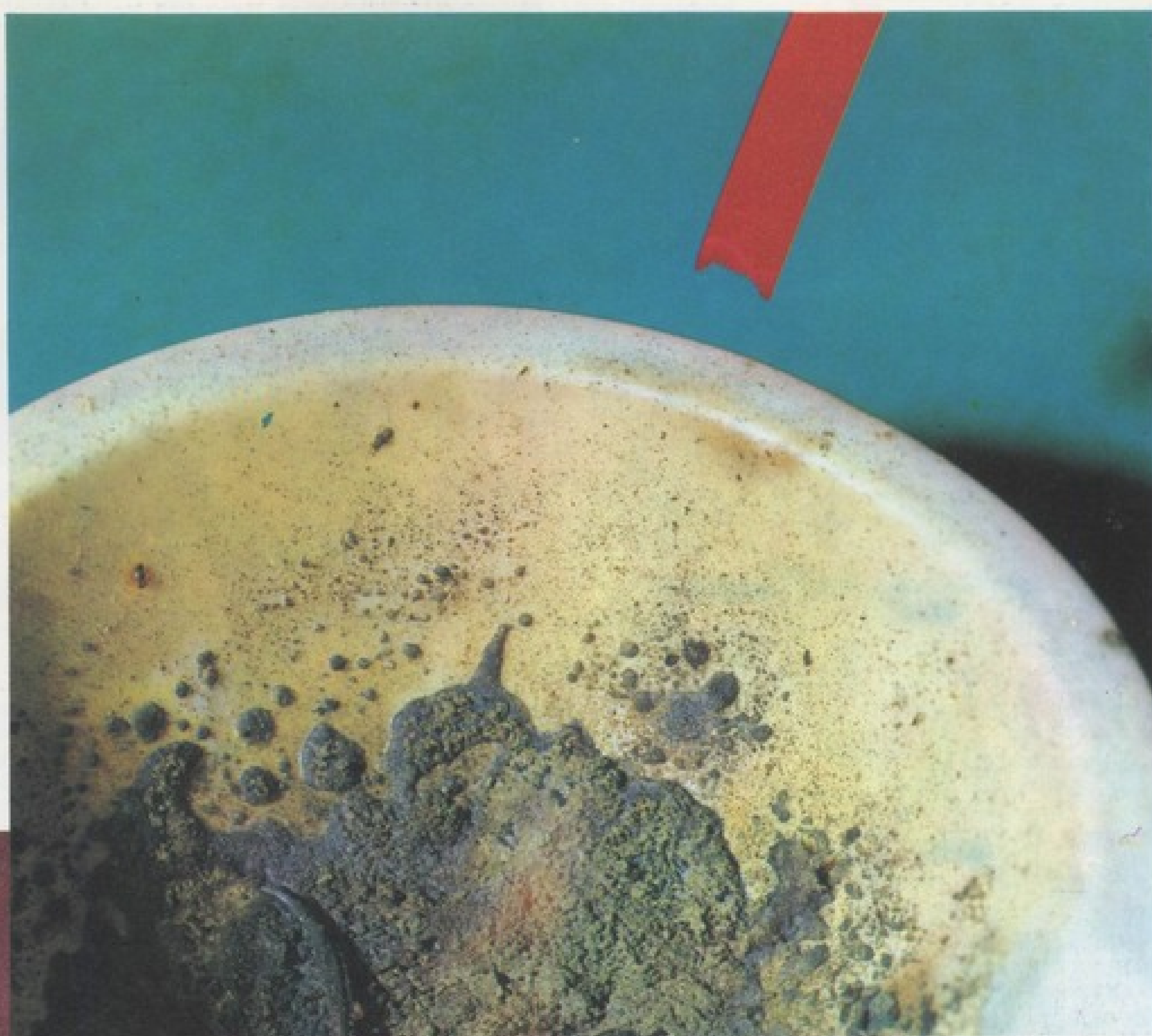
Los *óxidos* se clasifican en *ácidos*, *básicos* y *neutros*.

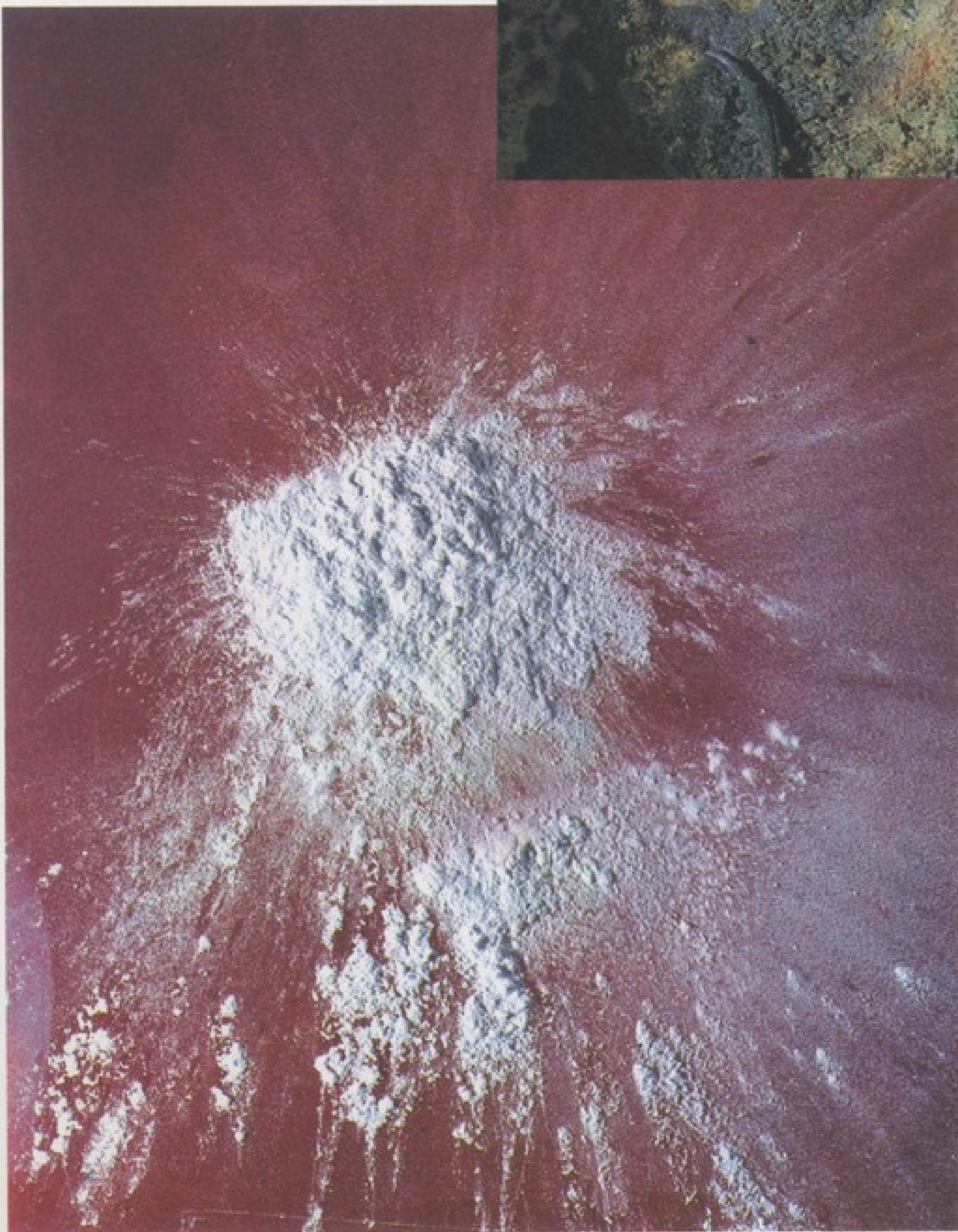
Los óxidos ácidos o anhídridos son óxidos formados por elementos no metálicos. Disueltos en agua poseen carácter ácido,



Los óxidos son compuestos binarios del oxígeno con otro elemento, sea metal o no metal. Puesto que el oxígeno, después del flúor, es el elemento más electronegativo, numerosos elementos metálicos y no metálicos con gran número de electrones disponibles reaccionan con el oxígeno, dando lugar a los óxidos que se encuentran tan difundidos en la Naturaleza. Por ejemplo, óxidos, como la magnetita, la limonita y la hematites (representada arriba), son los minerales más comunes del hierro. Otros óxidos importantes son la bauxita (óxido de aluminio), que es la materia prima utilizada para la preparación industrial del aluminio; la pirolusita (a la izquierda) (óxido de manganeso), utilizada entre otras cosas en la industria del vino → como decolorante de éste; el cuarzo (dióxido de silicio), utilizado también con gran frecuencia en la fabricación del vidrio. Los óxidos de los metales, al combinarse con el agua, dan las bases correspondientes, por lo que se les llama óxidos básicos; por otra parte, los óxidos de algunos no metales al reaccionar con el agua dan los ácidos correspondientes, como en el caso del dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso (arriba, en la página siguiente, se ve cómo el dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso colorea de rojo la cartulina indicadora cuando se añade agua, lo que evidencia el carácter ácido de la disolución), por lo que son →

llamados óxidos ácidos o anhídridos. Haciendo por tanto reaccionar en una disolución acuosa los óxidos básicos con los óxidos ácidos se obtienen las sales respectivas. Los óxidos se preparan por descomposición de los oxácidos, o de sus sales, por deshidratación térmica de los hidróxidos en el caso de los óxidos básicos, o por deshidratación de los ácidos en el caso de los óxidos ácidos (de aquí el nombre de anhídridos). En los óxidos básicos el enlace entre el metal y el oxígeno es a veces completamente iónico, como en el caso del óxido de calcio, llamado calcio, o más comúnmente cal viva (representada en la parte inferior). En otros óxidos básicos el enlace es covalente, como por ejemplo en el caso del óxido de magnesio y del óxido de aluminio. Los óxidos de los elementos no metálicos tienen a su vez estructuras con enlaces sustancialmente covalentes. Existen también ciertos óxidos de algunos elementos metálicos o no metálicos que tienen elevada carga eléctrica y pequeño radio iónico, por lo cual no tienen normalmente una destacada tendencia a dar bases o ácidos, y se comportan como bases en presencia de ácidos fuertes y como ácidos en presencia de bases fuertes. Tales óxidos son llamados óxidos anfóteros.





dando origen a los oxácidos. Tal es el caso del dióxido de carbono que, disuelto en agua, origina un ácido débil (el agua carbónica de algunas bebidas).

Los óxidos básicos son óxidos de elementos metálicos que en disolución acuosa dan origen a hidróxidos con carácter básico más o menos acusado. Reaccionan con los oxácidos para dar oxosales.

Los óxidos neutros, como el monóxido de carbono, no presentan carácter ácido ni básico.

Dentro del grupo de óxidos de un mismo elemento hay un óxido común que se forma más fácilmente que los otros y suele ser más abundante. Los óxidos que contienen el ion C_2 se denominan "peróxidos" y los compuestos que contienen el grupo O_2 divalente se denominan "percompuestos" (perácidos y persales). Originariamente, el prefijo "per" se utilizaba para indicar aquellos compuestos en que el elemento actuaba con una valencia superior, mientras que con el prefijo "proto" se designaban los compuestos en que el elemento actuaba con valencia inferior.

Gran cantidad de minerales metálicos se presenta en la corteza terrestre en forma de óxidos. En mayor o menor concentración, los óxidos se pueden encontrar formando parte de rocas comunes, como sucede con el dióxido de silicio (sílice), que forma el cuarzo y las arenas cuarcíferas. Los óxidos de hierro, el óxido de aluminio en la bauxita y otros óxidos se encuentran mezclados con grandes concentraciones de otras rocas y dispersos por toda la corteza terrestre.

Véase **Oxidación y reducción; Oxígeno; Química**

Oxígeno

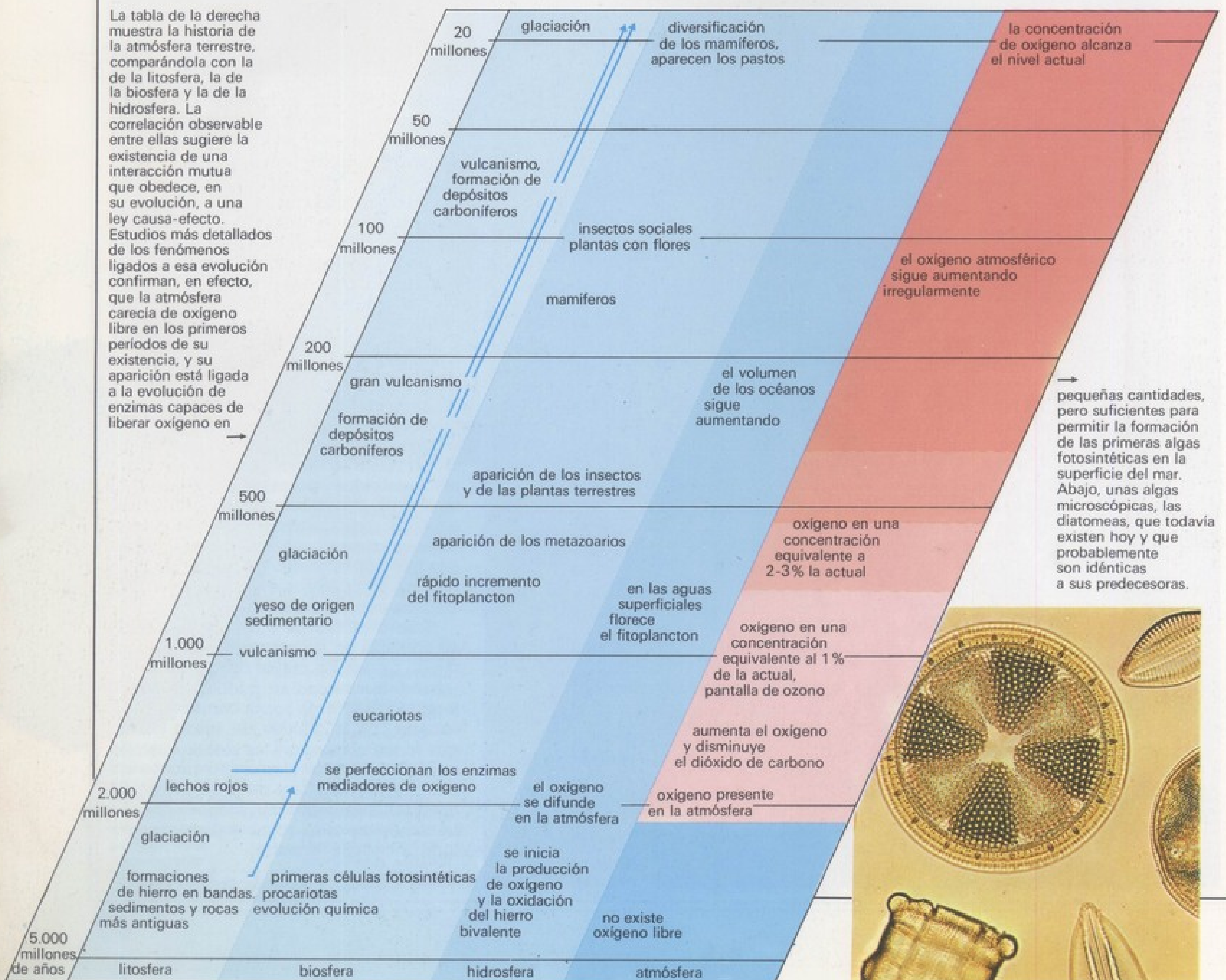
NOMBRE	OXIGENO
SIMBOLO	O
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del griego ὀξύς, "ácido", y γεννάω, "generar"
N. ATOMICO	8
PESO ATOMICO	15,9994
ESTADO NATURAL	en estado libre en la atmósfera, o en estado combinado en el agua o en rocas
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	J. Priestley (1774)
PRODUCCION	licuefacción y destilación fraccionada del aire y también mediante electrólisis del agua
P. f. (°C)	−218,4
P. eb. (°C)	−183
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	1,4 g/l
PROPIEDADES Y APLICACIONES	gas esencial para la vida; se utiliza para las soldaduras y corte de los metales (llama oxiacetilénica y llama oxhídrica); en la industria química como oxidante y en medicina en la terapia de la anoxemia

A pesar de que el oxígeno ha sido el elemento de mayor trascendencia para la vida de la especie humana, su identificación y aislamiento por los científicos no se produjo hasta la segunda mitad del siglo XVIII, más tarde incluso que el descubrimiento de otros gases cuya proporción en la atmósfera es muy inferior, como el dióxido de carbono o como el nitrógeno, cuya actividad es escasa.

Su descubrimiento, en 1773, se debe al químico sueco K. W. Scheele, aunque por publicar sus trabajos con posterioridad a los realizados por J. Priestley es a este último a quien se le considera el auténtico descubridor. Priestley, en 1774, aisló el oxígeno puro en estado gaseoso al calentar el óxido de mercurio en un tubo barométrico mediante una gran lente que proyectaba los rayos solares; posteriormente comprobó que en una atmósfera de este gas, la combustión se producía mucho mejor que en el aire. Desde esa fecha se ha detectado la presencia del oxígeno en un gran número de compuestos, tanto gaseosos como líquidos y sólidos. En la atmósfera, su concentración es del 21% en volumen con una masa aproximada total de 4×10^{18} kg, mientras que en el agua lo es en un 89% en peso.

En estado puro y en condiciones normales, el oxígeno es un gas incoloro, insípido e inodoro, de una densidad aproximada de $1{,}4 \times 10^{-3}$ g/cm^3. Por debajo de su temperatura de ebullición (—183 °C) se convierte en un líquido de color azulado con una densidad de 1,14 g/cm^3. Químicamente es muy activo. Reacciona con la mayor parte de los elementos para producir óxidos.

Aplicaciones industriales Industrialmente el oxígeno se obtiene a partir de la destilación fraccionada del aire una vez licuado, pudiendo conservarse en este estado mediante la utilización de unos recipientes adecuados, conocidos como vasos Dewar. El oxígeno líquido ofrece la ventaja fundamental de ocupar un volumen muy bajo a presión ambiente. También puede ser comprimido a altas presiones dentro de recipientes de acero, pudiendo almacenarse en un volumen no muy elevado el equivalente a varios metros cúbicos de este gas en condiciones normales. Estas posibilidades permiten su



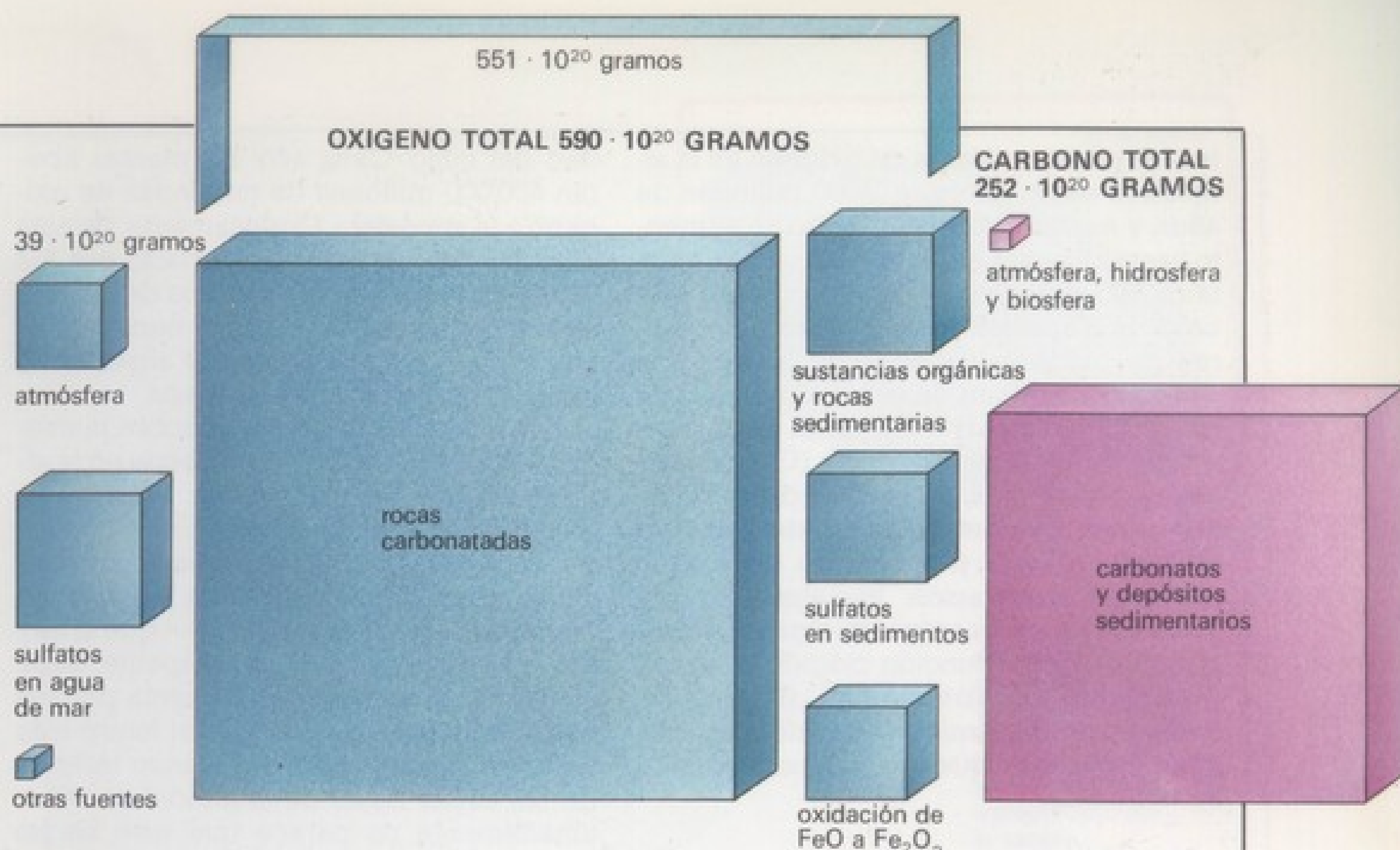
La tabla de la derecha muestra la historia de la atmósfera terrestre, comparándola con la de la litosfera, la de la biosfera y la de la hidrosfera. La correlación observable entre ellas sugiere la existencia de una interacción mutua que obedece, en su evolución, a una ley causa-efecto. Estudios más detallados de los fenómenos ligados a esa evolución confirman, en efecto, que la atmósfera carecía de oxígeno libre en los primeros períodos de su existencia, y su aparición está ligada a la evolución de enzimas capaces de liberar oxígeno en →

→ pequeñas cantidades, pero suficientes para permitir la formación de las primeras algas fotosintéticas en la superficie del mar. Abajo, unas algas microscópicas, las diatomeas, que todavía existen hoy y que probablemente son idénticas a sus predecesoras.

transporte en aviones y naves espaciales para la respiración de los tripulantes.

El oxígeno líquido también se utiliza como comburente en los motores de ciertos cohetes cuyo propulsante es hidrógeno líquido o queroseno. En estado gaseoso se emplea en procesos metalúrgicos, como son la purificación del acero y la soldadura, como elemento oxidante en los sopletes oxhídricos de combustión de hidrógeno y en los oxiacetilénicos de combustión de acetileno. En medicina, el oxígeno encuentra una aplicación en los respiradores mecánicos, tanto para facilitar la respiración de los pacientes que han sido somtidos a una operación como la de los que están sujetos a disfunciones respiratorias o coronarias.

La formación del oxígeno atmosférico La existencia del oxígeno libre en la atmósfera no tiene su origen en los procesos de formación y evolución de la Tierra. Paradójicamente, este gas, imprescindible para la respiración de la mayor parte de los seres vivos, es de origen biológico, es decir, es producto de los seres vivos. De acuerdo con las teorías más actua-



Sobre estas líneas, el balance de oxígeno y de carbono en la atmósfera y en las rocas sedimentarias. El diagrama indica que los elementos se encuentran en la proporción de 32/12 (dos átomos de oxígeno de peso molecular 16 por uno de carbono de peso molecular 12), es decir, la misma proporción de la molécula de dióxido de carbono (CO_2). Según esto, el proceso de fotosíntesis, que libera oxígeno a partir del CO_2, puede ser el responsable no sólo del oxígeno existente en la atmósfera, sino también de una cantidad mucho mayor que se encuentra en compuestos y sedimentos en la superficie de la Tierra.

Esquema del ciclo del oxígeno en la atmósfera y en la litosfera. El oxígeno existe en forma libre, en la atmósfera, o combinado, en el agua y en las rocas de origen inorgánico. El ciclo es complejo debido a la gran cantidad de reacciones químicas en que interviene. Mientras que la formación del oxígeno molecular se debe casi en su totalidad a la fotosíntesis de la vegetación, los mecanismos de destrucción son numerosos. A ello contribuyen todos los procesos de degradación de residuos orgánicos, sobre todo vegetales, las oxidaciones de dióxido de carbono, de monóxido de carbono, de las emanaciones volcánicas y de la oxidación de los sulfuros de hierro.

radiación ultravioleta

pantalla de ozono

$O_2 + 2CO \rightarrow 2CO_2$

acción volcánica

desintegración atmosférica

$4 FeO + O_2 \rightarrow 2 Fe_2O_3$

fitoplancton

zona eufótica

$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow HCO_3^- + H^+ \rightarrow 2HCO_3 \rightarrow CO_3^{--}$

$CaCO_3$

sedimentos

les, las primeras trazas de oxígeno en la atmósfera datan de hace 2.000 millones de años, y su concentración ha ido en aumento hasta alcanzar los valores actuales, hace unos 300 millones de años. Su origen está unido a la aparición de enzimas mediadores de oxígeno, capaces de liberar una cantidad suficiente de este gas como para crear, en las capas altas de la atmósfera, una concentración de ozono (O_3) que actúa como pantalla protectora de la radiación solar ultravioleta, e impide que ésta alcance la Tierra, permitiendo así la existencia de vegetación: inicialmente, ésta consistía en microscópicas algas marinas, que mediante la función clorofílica fueron lentamente convirtiendo el dióxido de carbono de la primitiva atmósfera en oxígeno molecular, que fue progresivamente aumentando.

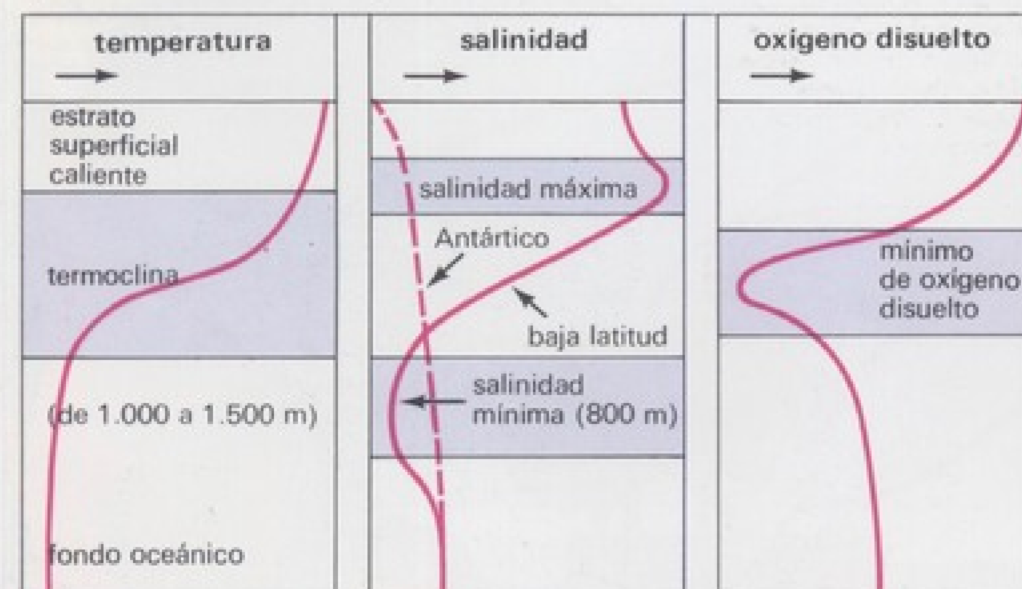
Ciclo del oxígeno El oxígeno atmosférico está sometido a un constante proceso de formación y destrucción. La respiración de los seres humanos y animales, los residuos orgánicos, la actividad volcánica y las emanaciones industriales, entre otros, están contribuyendo continuamente a la destrucción del oxígeno atmosférico mediante reacciones de oxidación, que en su mayor parte producen dióxido de carbono (CO_2). La función fotosintética de las plantas, por el contrario, es la responsable de la creación del oxígeno a partir del propio dióxido de carbono, restableciendo el equilibrio y manteniendo la continuidad del ciclo. Cada año, las plantas liberan 400.000 millones de toneladas de oxígeno a la atmósfera. Curiosamente, de esta cantidad sólo el 10% es aportado por los bosques, vegetación y campos de cultivo, mientras que el 90% restante tiene su origen en plantas unicelulares y algas, cuyo hábitat son los mares y océanos.

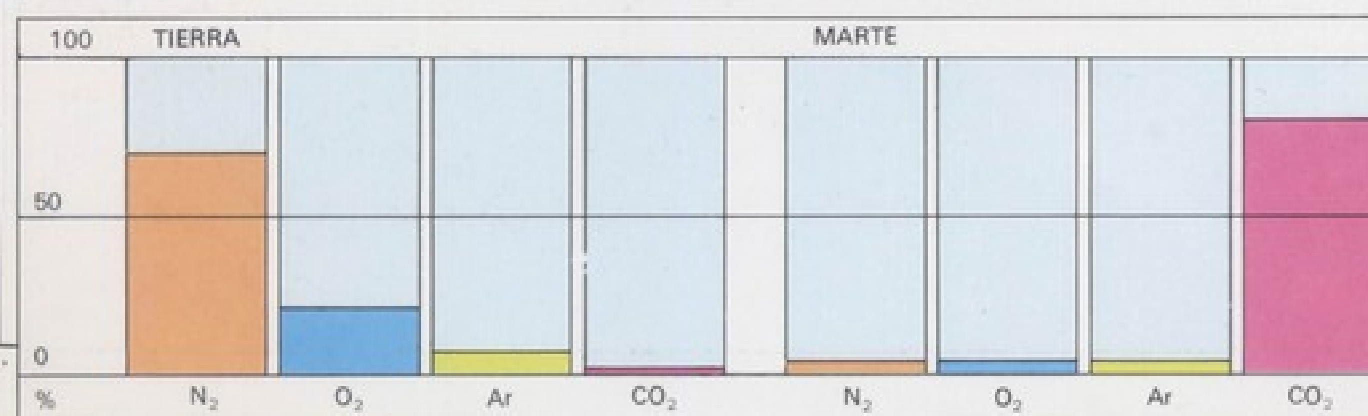
Las continuas mediciones sobre la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera que se realizan en Mauna Loa (Hawaii) ponen de manifiesto un continuo y fuerte aumento anual de este constituyente atmosférico —debido a la actividad industrial y a la deforestación— que si hoy por hoy todavía no es preocupante, debe al menos de ser tenido en cuenta por sus posibles consecuencias, en un futuro más o menos lejano, sobre el balance térmico de las capas bajas de la atmósfera. Afortunadamente no parece que este hecho haya, por el momento, afectado de una manera sensible al contenido de oxígeno en el aire.

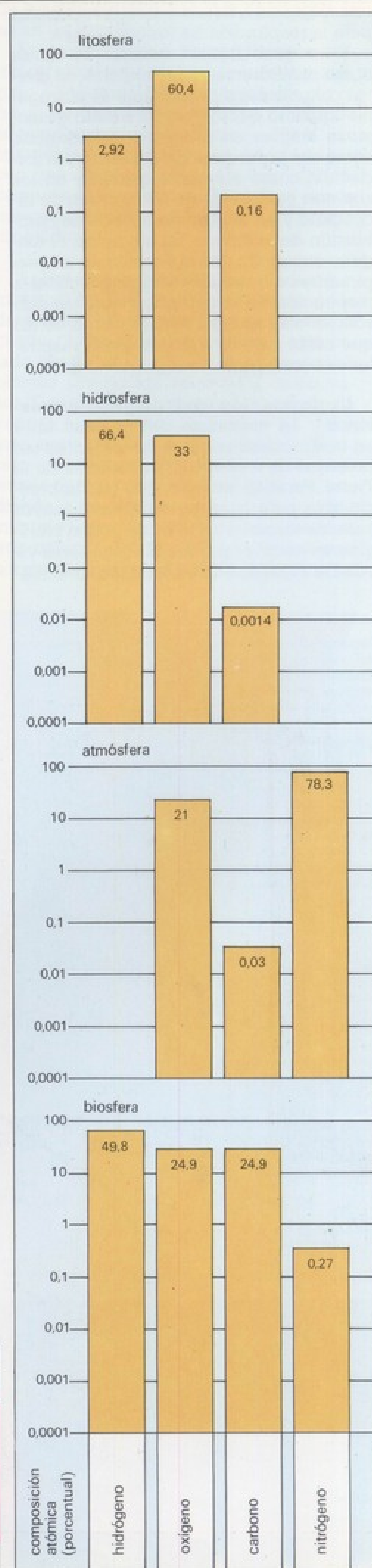
No es posible asegurar, sin embargo, que de continuar el ritmo actual de emanaciones carbónicas, de contaminación marina y de destrucción de grandes áreas de bosques y selvas tropicales, el manto verde pueda ser capaz en los próximos siglos de seguir renovando las existencias de oxígeno para mantenerlas en los niveles actuales.

Véase **Atmósfera; Atmósfera, evolución de la; Oxidación y reducción; Ozono**

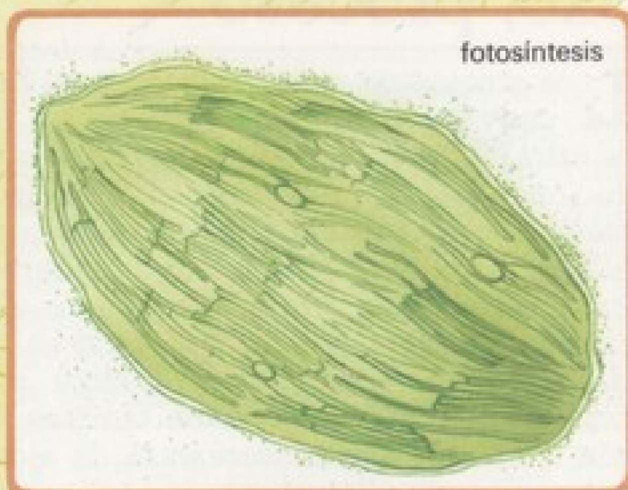
Abajo del todo, una comparación entre los distintos constituyentes que forman la atmósfera de la Tierra y la de Marte: se puede observar que la terrestre es rica en oxígeno y que la presencia de nitrógeno es destacable. A la derecha se aprecia que en la atmósfera de Marte el oxígeno y el nitrógeno sólo constituyen trazas. Sin embargo, es más abundante el dióxido de carbono. Es probable que ésta fuese la composición primordial de la atmósfera terrestre, con la salvedad de que nuestra presión gravitatoria es cien veces mayor que la de Marte. En la columna de la derecha, los cuatro diagramas ponen de relieve la repartición porcentual entre atmósfera, litosfera, biosfera e hidrosfera, de los principales oxidantes y reductores. El esquema para la atmósfera evidencia una ausencia total de hidrógeno, demasiado ligero para mantenerse en ella. El oxígeno aparece en los cuatro medios. En el diagrama de la izquierda se puede observar cómo varían, con la profundidad, la temperatura (a la izquierda), la salinidad (en el centro) y el oxígeno disuelto (a la derecha) en el océano. La temperatura, aunque en proporción variable, disminuye de manera continua con la profundidad. La salinidad y el oxígeno presentan un mínimo y su concentración aumenta de nuevo a grandes profundidades. En el caso de la salinidad se aprecia una fuerte dependencia con la latitud, de tal manera que las curvas para mares árticos y para mares tropicales son sustancialmente distintas.

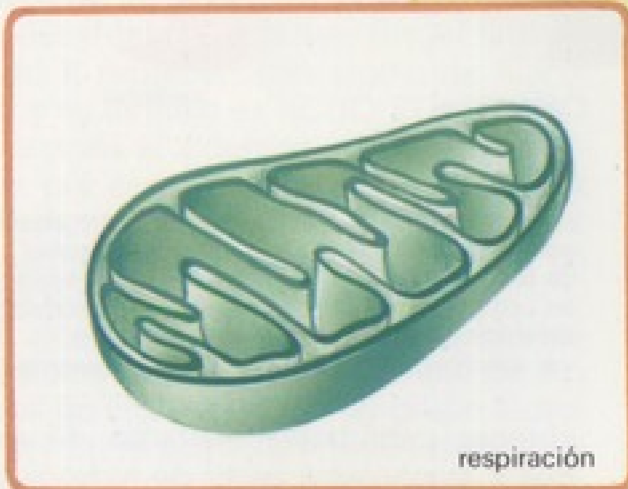




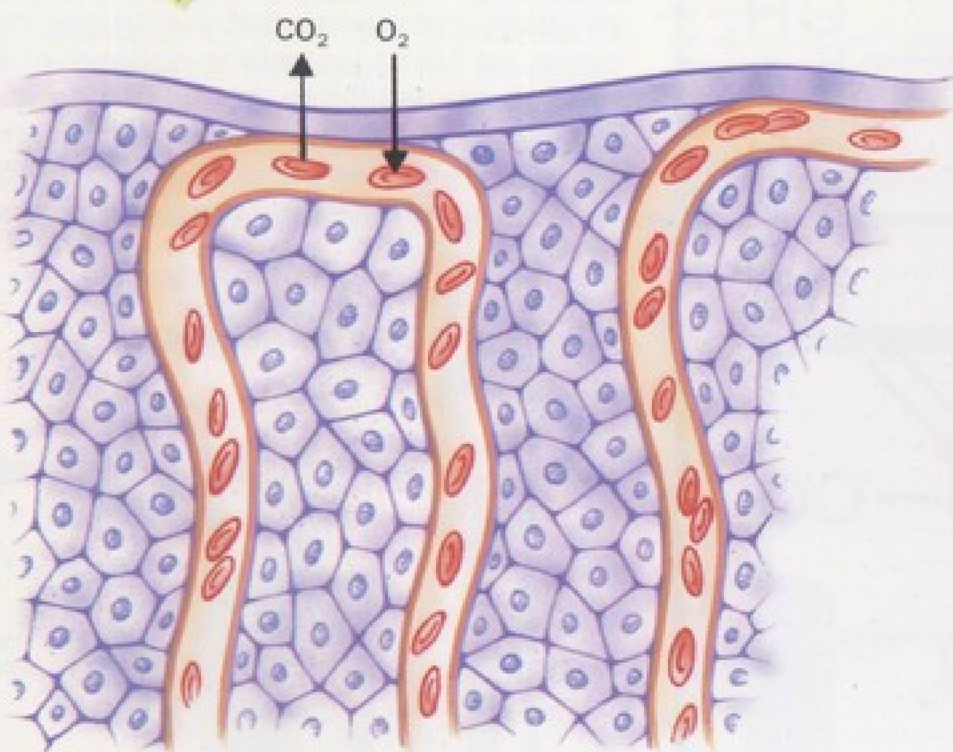


A la derecha podemos observar una hoja, responsable de la respiración de las plantas superiores; en el recuadro bajo estas líneas, una mitocondria, orgánulo en el cual se forma el almidón y, más arriba a la derecha, una microfotografía de un cloroplasto, responsable de la producción de la clorofila. Los vegetales fijan el dióxido de carbono, sintetizan la celulosa y liberan oxígeno.

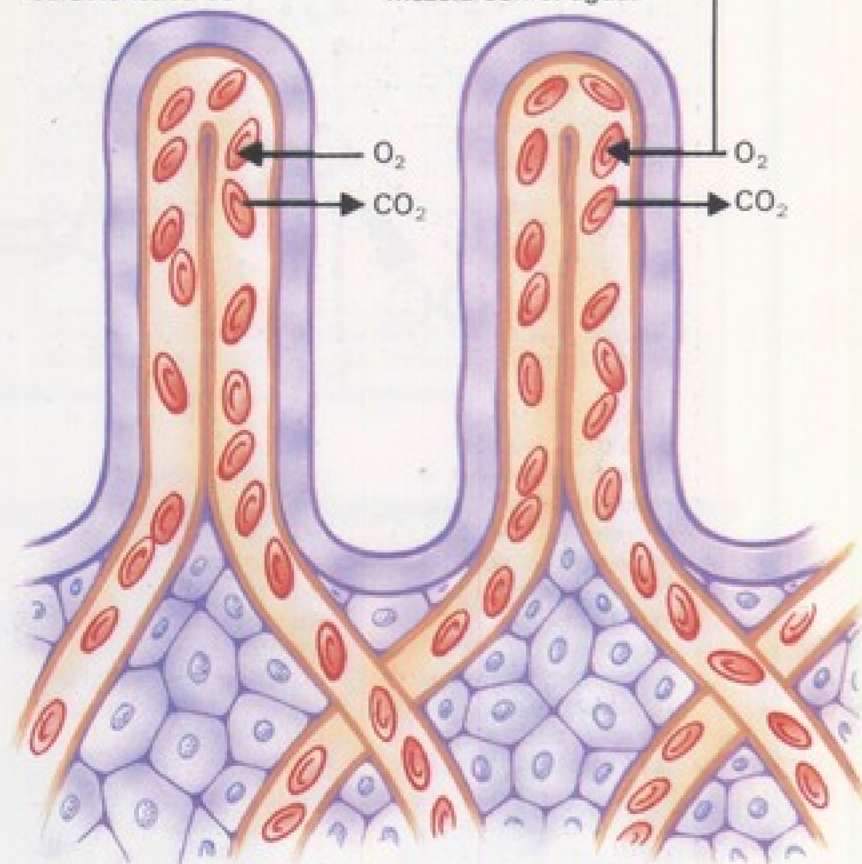


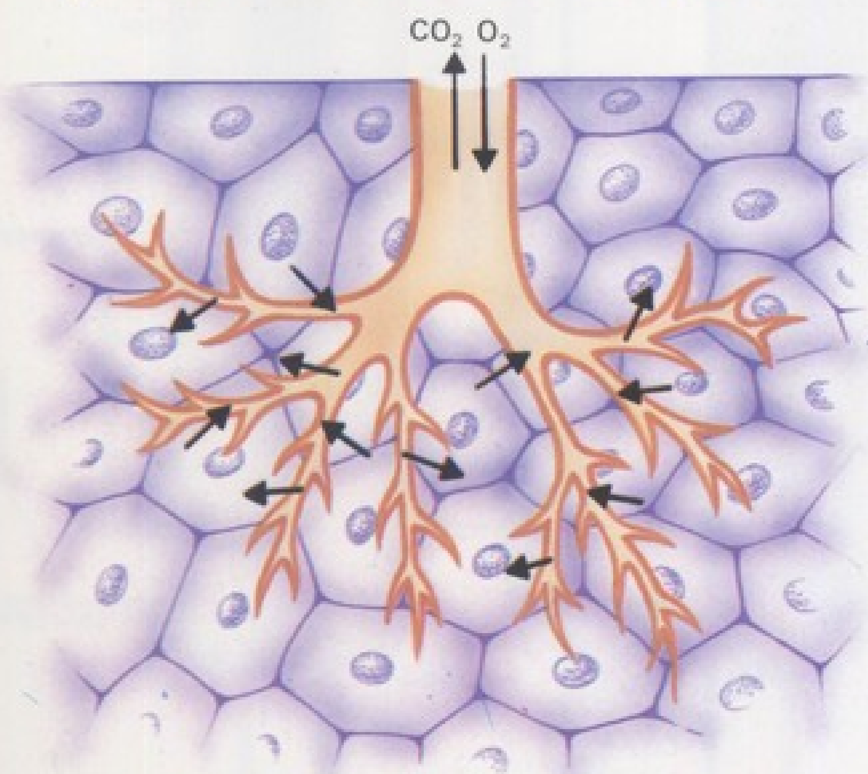


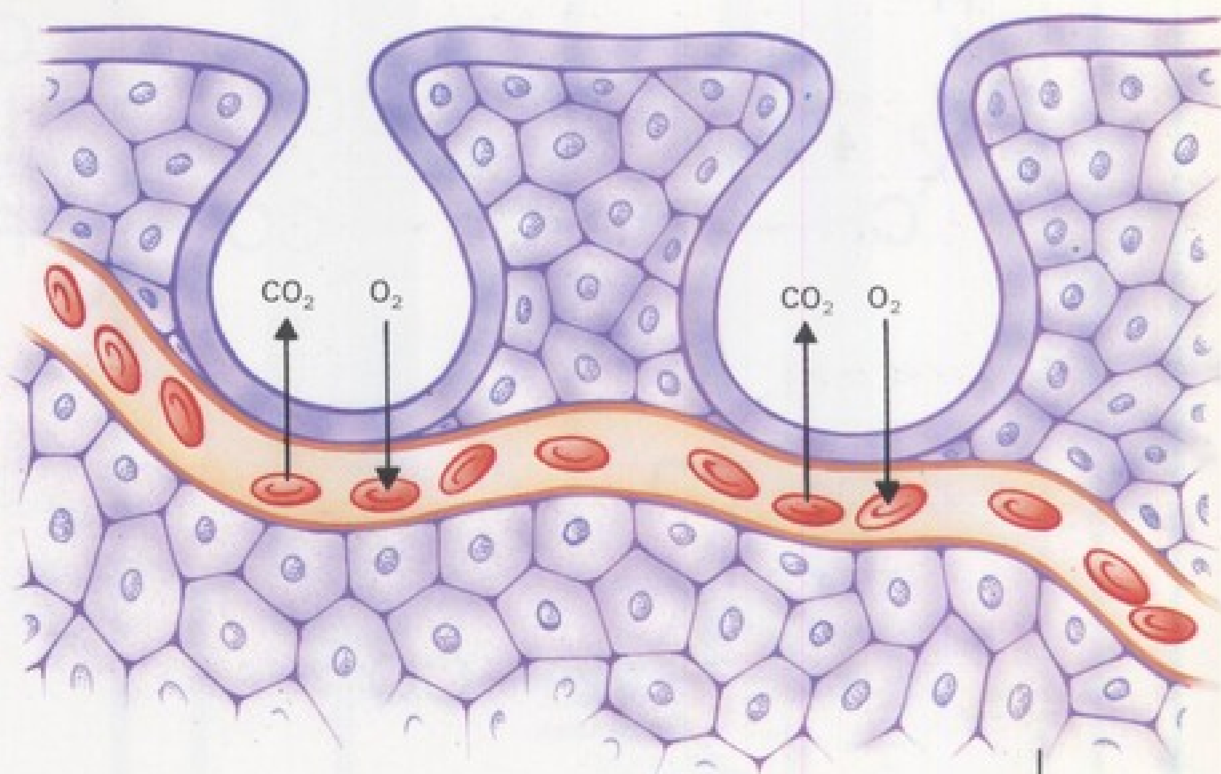
Abajo vemos el mecanismo de la respiración branquial, característica de muchos animales acuáticos. El oxígeno disuelto en el agua es absorbido por el tejido branquial y seguidamente es transportado por la sangre, distribuyéndose rápidamente dada su peculiar estructura. La sangre oxigenada cede entonces el dióxido de carbono, que se mezcla con el agua.



A la izquierda, el mecanismo respiratorio de los animales inferiores. En ellos, la respiración es cutánea, es decir, se produce un intercambio a través de la piel: del oxígeno (hacia el interior) y del dióxido de carbono (hacia el exterior). En los insectos, abajo a la izquierda, la respiración es traqueal; es decir, que los intercambios gaseosos con la atmósfera se producen en las ramificaciones de las paredes de la tráquea. En los animales superiores, abajo a la derecha, los intercambios gaseosos entre oxígeno y dióxido de carbono tienen lugar en los alvéolos pulmonares.

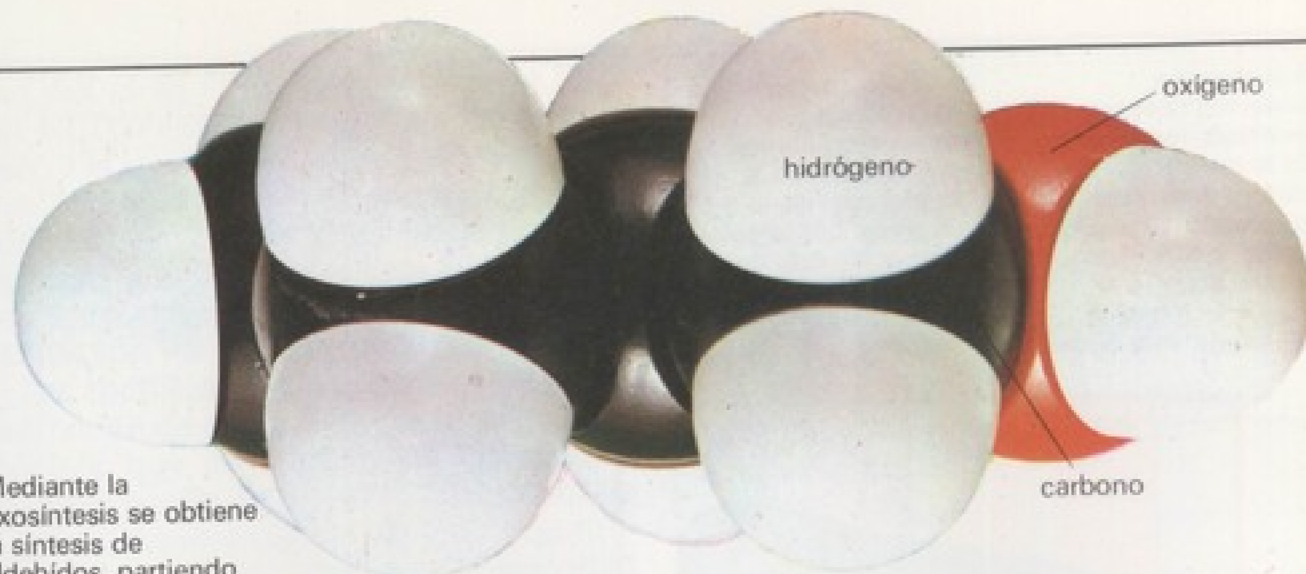




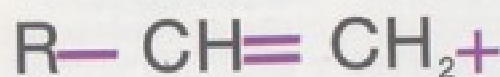


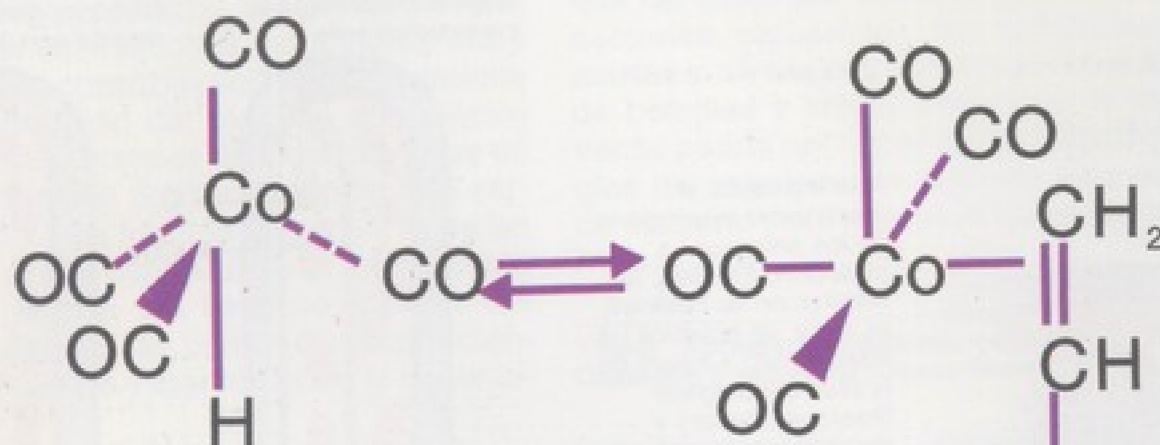
Oxo, proceso

Los objetos de material plástico se han convertido en parte integrante de nuestra civilización, de forma que sus aplicaciones resultan prácticamente innumerables. Desde los utensilios sencillos para el hogar hasta las envolturas o cubiertas para los grandes ordenadores, los materiales plásticos se pueden encontrar en todas partes. Los materiales plásticos son compuestos sintéticos, como también lo son los aditivos y conservantes de algunos productos alimenticios, los adhesivos o colas, las resinas para proteger las superficies de madera, los fertilizantes químicos, los aromas para perfumes, los lubricantes industriales y los disolventes para el lavado en seco. Todos estos elementos dependen por igual de los *oxoprocesos*, una vía económica que permite obtener cantidades elevadas de aldehídos y alcoholes a partir de hidrocarburos no saturados. Los aldehídos y los alcoholes son productos químicos esenciales para la síntesis de una gran variedad de productos. Un hidrocarburo es un compuesto químico formado por carbono e hidrógeno, que se puede obtener de una gran diversidad de materias primas, como el petróleo. Cuando en la molécula de un hidrocarburo dos átomos de carbono adyacentes comparten dos electrones cercanos, se forma un enlace doble y el hidrocarburo resultante, insaturado, se suele llamar *olefina*. Todos estos compuestos de naturaleza insaturada son muy reacti-

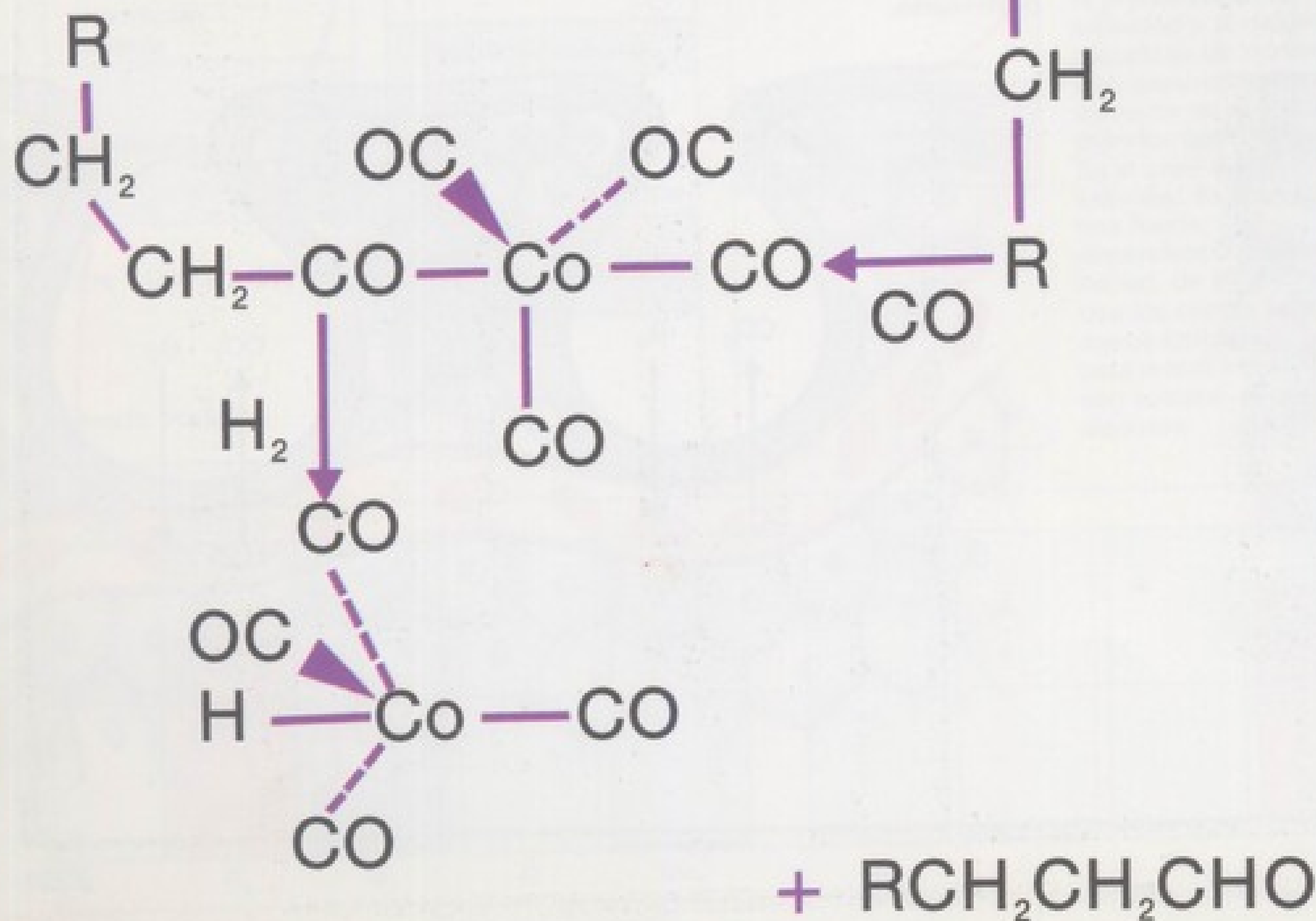


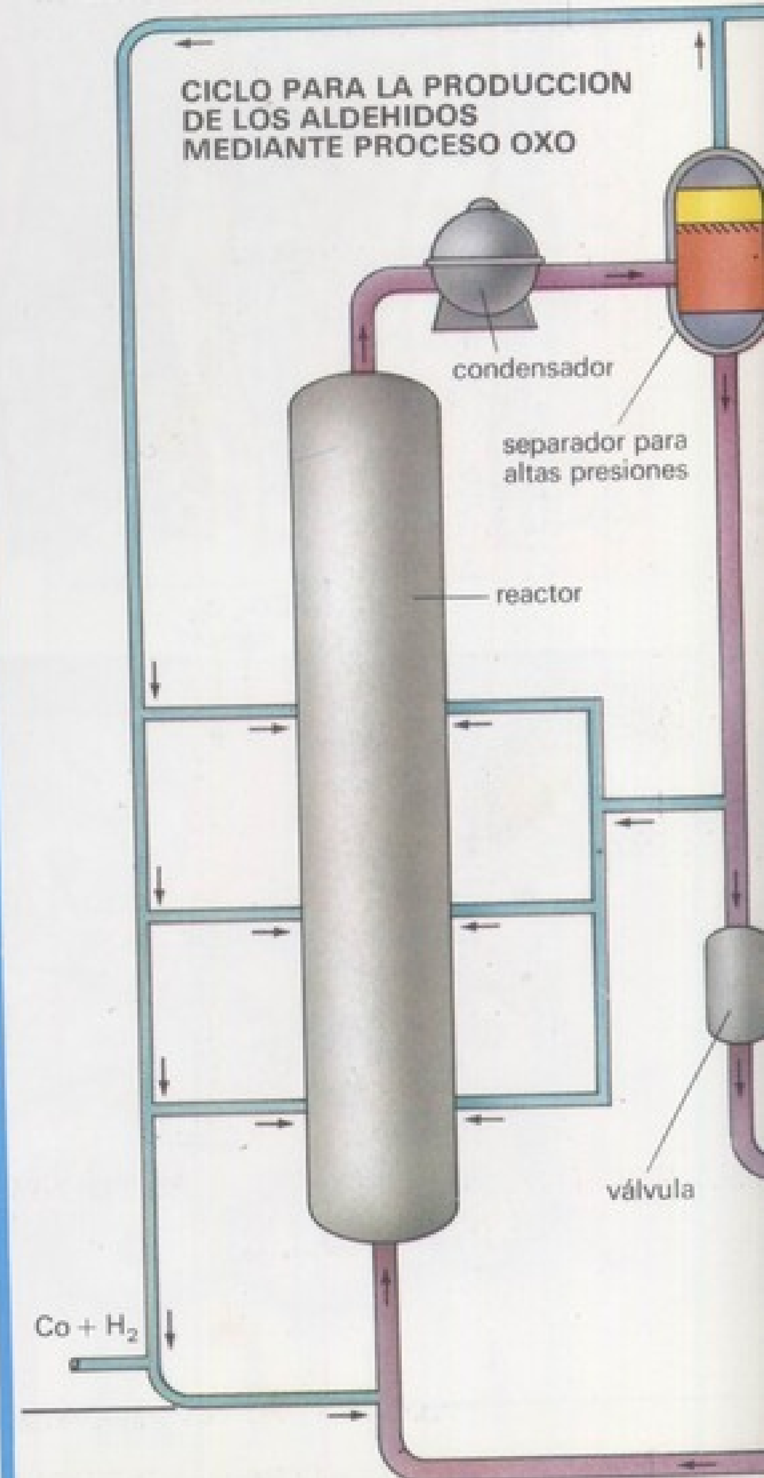
Mediante la oxosíntesis se obtiene la síntesis de aldehídos, partiendo de un producto insaturado, de oxígeno, de carbono y de hidrógeno. Este método tiene una gran variedad de aplicaciones en el campo industrial, ya que cualquier compuesto insaturado, lineal, ramificado o cíclico, puede ser potencialmente convertido, a través de la oxosíntesis, en compuestos aldehídicos, que a su vez son transformables en ácidos y alcoholes, como el alcohol n-butílico (arriba), mediante oxidación o reducción, respectivamente.





El centro activo en la reacción de oxosíntesis es el doble enlace olefínico que se agrega al catalizador cobaltohidrocarbonílico. El complejo intermedio de cobalto así formado adiciona fácilmente una molécula de óxido de carbono, y este paso introduce una nueva reestructuración molecular del complejo, por lo que se une un radical alquílico (la adición directa del CO a la olefina no sería posible). Para la disociación de la molécula de hidrógeno y la simultánea adición de los átomos de hidrógeno formados se ha de producir la formación de aldehído y la regeneración del catalizador.





vos, lo que hace que sean ventajosamente utilizados en la industria química.

Aldehídos y alcoholes Los aldehídos y los alcoholes son compuestos muy afines. Un aldehído tiene una estructura química de la forma RCHO, en la que R representa una cadena de hidrocarburo que ha perdido un átomo de hidrógeno. En el caso del aldehído más sencillo, el formaldehído, R representa un átomo de hidrógeno, y su fórmula es HCHO. El grupo CO proporciona al aldehído una alta reactividad y, por consiguiente, es muy útil para la preparación de distintos compuestos; por ejemplo, agregando hidrógeno a un aldehído se obtiene un alcohol.

Un alcohol puede obtenerse a partir de un hidrocarburo, sustituyendo uno de sus átomos de hidrógeno por un grupo hidroxilo OH. En la estructura molecular de un alcohol, el grupo hidroxilo puede localizarse en diversos puntos de la misma cadena, en distintos átomos de carbono, con lo que se puede obtener varios tipos de alcohol sin cambiar la fórmula empírica, pero sí su estructura. Estos compuestos se llaman *isómeros*. Si en la molécula de un alcohol el grupo hidroxilo se encuentra enlazado a uno de los extremos de la molécula, mediante la oxidación del alcohol se obtiene un aldehído (por la eliminación de un átomo de hidrógeno del alcohol).

Las fases del proceso-oxo El proceso-oxo se desarrolla en unos reactores de acero inoxidable. En la primera fase, el hidrocarburo insaturado de partida se hace reaccionar con óxido de carbono e hidrógeno, sometiéndolo a elevadas presiones y altas temperaturas. En ese momento, se suele introducir un catalizador (cobalto o compuestos del rodio) que aumenta la velocidad de la reacción. Mediante esta fase, correspondiente a una hidroformilación, se obtiene la formación de aldehídos no purificados. En una segunda fase se procede a retirar el catalizador así como los subproductos no deseados. El aldehído así obtenido puede ser utilizado como tal o ser sometido a una tercera fase en que se reduce a un alcohol, mediante una reacción que exige temperaturas y presiones muy elevadas y el hidrógeno necesario. Finalmente, este alcohol pasa a ser purificado en una última fase.

Aplicaciones de los productos obtenidos mediante el proceso-oxo Los distintos tipos de aldehídos y alcoholes obtenidos dependen naturalmente del hidrocarburo utilizado y no del catalizador empleado. El formaldehído mezclado con agua en disolución del 35-40% constituye el formol usado en la conservación de tejidos biológicos y en técnicas de embalsamamiento. Condensado el formaldehído con fenol se obtiene la *bakelita*, una materia plástica muy resistente a las tensiones y al calor, que se suele emplear en los utensilios de cocina.

El aldehído propiónico se utiliza en la preparación de conservantes de productos alimenticios.

Es frecuente que los alcoholes sintetizados mediante el oxo-proceso sean altamente tóxicos. Algunos de estos alcoholes son utilizados por su acción detergente como disolventes y aditivos en los carburantes derivados del petróleo. La creciente penetración en los diversos mercados de las materias plásticas y de otros productos sintéticos de aplicación común surge como respuesta al enorme incremento de la producción de compuestos mediante el oxo-proceso. La primera factoría importante donde se utilizó este proceso industrial fue creada en 1948 en Estados Unidos. Se producían por aquél entonces 2.860 toneladas de aldehídos y de alcohol al año, mientras que en la actualidad la producción estadounidense anual se cifra en 17 millones de toneladas.

Véase **Alcoholes; Aldehídos y cetonas; Catálisis y catalizadores; Disolventes; Hidrocarburos; Plásticos**

Bajo estas líneas, el ciclo de producción de los aldehídos. El catalizador es alimentado en el reactor, así como el gas de síntesis o las olefinas. El producto que sale del reactor es tratado con carbonato sódico para separar de este modo el catalizador de los aldehídos formados. Estos nuevos productos son sometidos a un tratamiento con ácido sulfúrico para separar el sulfato de sodio y al mismo tiempo recuperar el catalizador.

Ozono

De los elementos que componen el aire que nos rodea, una proporción cercana al 21% en volumen corresponde al oxígeno molecular (O_2), esencial para el proceso de respiración de la mayor parte de los seres vivos. Sin embargo, sus otras dos variedades alotrópicas —el oxígeno atómico (O) y el ozono (O_3)—, formadas por uno y tres átomos respectivamente, también están presentes en la atmósfera, donde desempeñan un importante papel en el mantenimiento del equilibrio térmico de la misma y en la protección de la propia vida sobre el planeta.

El ozono, pese a la insignificante proporción en que se encuentra, está considerado como uno de los constituyentes principales por su propiedad de filtrar de forma selectiva la radiación ultravioleta solar, deteniendo la parte peligrosa de la misma, pero dejando pasar el resto.

El ozono en la atmósfera Al ser prácticamente inexistente en las capas bajas de la atmósfera —a excepción de los cortos períodos de tiempo en que se producen las tormentas eléctricas— pasó inadvertido a los científicos durante mucho tiempo. En 1840 fue identificado por primera vez en el laboratorio como una sustancia distinta del oxígeno por el químico alemán Schoenbein, quien le dio un nombre derivado del vocablo griego que significa oler, por su peculiar e irritante olor.

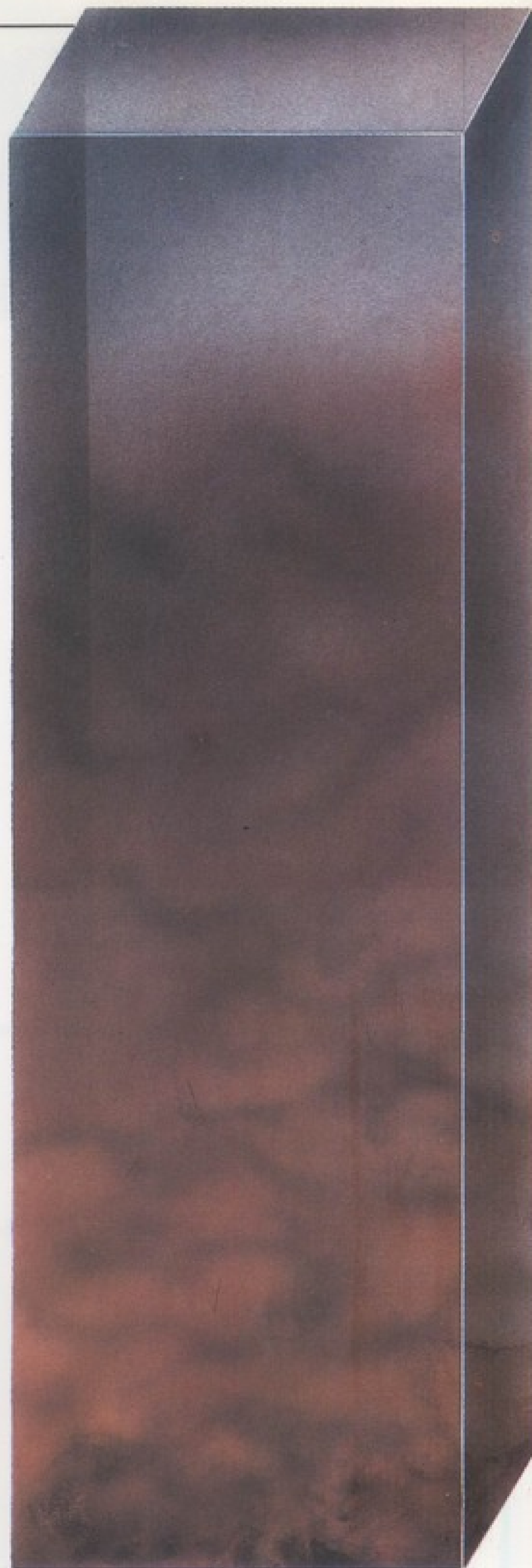
Sin embargo, su presencia en la atmósfera no se sospechó hasta que fueron realizadas las primeras medidas precisas del espectro de radiación solar que alcanza la superficie terrestre. Estas demostraron cómo más allá de uno de los extremos de la radiación visible —la zona del ultravioleta— tenía lugar un brusco descenso de la intensidad recibida, hasta el punto de que entre 2.000-3.000 Å (un Å es la diezmillonésima parte del milímetro) no llegaba prácticamente radiación alguna a la superficie terrestre. Considerando la hipótesis, más adelante plenamente confirmada, de que el Sol emite de manera continua en todo el espectro electromagnético, se realizaron una serie de experimentos en el laboratorio con fuentes de radiación ultravioleta y distintos tipos de gases que confirmaron que el ozono absorbía la radiación en la misma zona del espectro de luz solar que no había podido ser medido. Desde entonces este gas está identificado como el agente atmosférico responsable del súbito corte en el espectro del Sol.

Este hecho planteó un nuevo interrogante, consecuencia de la gran discrepancia entre los cálculos de la cantidad de ozono que debía existir en la atmósfera para filtrar por completo estas radiaciones y las medidas efectuadas, que mostraban el extremadamente bajo contenido de este gas en el aire (salvo, y de modo pasajero, en las proximidades de las tormentas eléctricas). El dilema sólo pudo resolverse años más tarde, cuando los primeros globos de sondeo transmitieron información sobre las condiciones y composición del aire que iban atravesando durante su ascenso. Gracias a esos pérfiles verticales fue posible establecer la división de los primeros kilómetros de la atmósfera en dos regiones claramente diferenciadas: la *troposfera*, caracterizada por un fuerte y constante descenso de la temperatura con la altura hasta alcanzar —60 °C a los 10 km. En esta región tienen lugar todos aquellos fenómenos atmosféricos que contribuyen a lo que tradicionalmente se conoce como tiempo atmosférico o meteorológico. La segunda región se denomina *estratosfera*, y se extiende desde el límite de la troposfera hasta una altura de unos 50 km. Debe su nombre al predominio de los movimientos de aire horizontales, o estratificados, sobre los verticales. Durante mucho tiempo se pensó que era una capa isoterma, es decir, de temperatura constante. Hoy se sabe que la temperatura aumenta con la altura hasta alcanzar un valor medio aproximado de —5 °C en su límite superior. Es en esta capa donde se encuentra la mayor parte del ozono.

Un cinturón protector Entre los 30 km y los 60 km de altura, la acción de la radiación ultravioleta de corta longitud de onda disocia el oxígeno molecular en oxígeno atómico, muy activo, que se recombina nuevamente con el molecular para formar ozono. Esta reacción desprende una gran cantidad de energía, que es asimilada por el aire circundante, ocasionando un aumento de temperatura en toda esa región. Su ritmo de producción aumenta al disminuir la altura y penetrar la radiación en capas de aire cada vez más denso, hasta llegar a un punto en que vuelve a disminuir hasta anularse debido a que las longitudes de onda involucradas en el proceso han sido absorbidas completamente en niveles superiores.

La mayor parte del ozono recién formado es rápidamente destruido en otro proceso fotoquímico que sucede a longitudes de onda entre 2.000-3.000 Å, transformándose de nuevo en oxígeno atómico y molecular, posibilitando que se reinicie el ciclo de reacciones. La radiación ultravioleta queda, pues, atrapada por el ozono a estas alturas. Sin embargo, no todo el ozono se destruye. Algunas moléculas descienden debido a su elevado peso y, protegidas por las capas superiores, se acumulan alrededor de la Tierra en una zona de sólo unos pocos kilómetros de espesor y centrada a una altura de unos 22 km, conocida como capa o cinturón de ozono.

Una pequeña modificación en las velocidades de formación o destrucción en el sentido de disminuir la cantidad de ozono provocaría un aumento en la cantidad de radiación ultravioleta que alcanzaría la superficie del planeta, ocasionando un rápido incremento en la incidencia del cáncer de piel. Asimismo, contribuiría a elevar la temperatura de la Tierra con graves repercusiones para la agricultura y con la amenaza de fusión de parte del hielo de los casquetes polares, lo que supondría la elevación del nivel del mar y la inundación de comarcas enteras.



Por el contrario, un aumento considerable en la cantidad de ozono conllevaría una absorción mayor de radiación ultravioleta en regiones del espectro que en la actualiad alcanzan la superficie, con consecuencias igualmente catastróficas, ya que estos rayos son indispensables para muchos procesos del mundo vegetal y para la síntesis de la vitamina D, imprescindible para la formación de una estructura ósea robusta y un desarrollo correcto del cuerpo humano.

Tendencias futuras La actividad industrial, el uso creciente de fertilizantes y

aerosoles y los vuelos de los aviones en la estratosfera, con el consiguiente vertido de considerables cantidades de halocarburos —agentes aniquiladores del ozono— han despertado una gran preocupación en el mundo científico y en la opinión pública. Desde hace años, un programa internacional, patrocinado por la Organización Mundial de Meteorología, ha contribuido a poner en servicio más de cien observatorios repartidos por todo el planeta (dos de ellos en la Península Ibérica) para medir diariamente el contenido de ozono en la atmósfera, con la intención de obtener un número de datos lo suficientemente elevado como para permitir prever su evolución futura. En la última década, se ha incluido una serie de instrumentos para medida de este gas en satélites meteorológicos y de investigación de la atmósfera, obteniéndose una cobertura diaria sobre todo el globo.

En la actualidad, con los datos de que se dispone, se pueden alejar las previsiones catastróficas enunciadas a comienzos de la década de los años setenta, y es posible pronosticar la permanencia e incluso un leve aumento del ozono total atmosférico en los próximos cuarenta años. Sin embargo, el toque de alarma ha servido para concienciar a la Humanidad del peligro que supone no sólo para el ozono sino para todo el frágil equilibrio del sistema tierra-atmósfera los vertidos de residuos de combustión en grandes cantidades. La actividad industrial descontrolada está llevando al extremo la capacidad de la atmósfera de autocompensarse o regenerarse. En el caso de algunas sustancias nocivas, aunque se prohibieran nuevos vertidos, será necesario el paso de varias décadas para eliminar del aire las concentraciones acumuladas en los últimos años; en el de otras, el nivel de peligrosidad parece todavía lejano, pero no es posible olvidar que sus consecuencias pueden llegar a ser, en un número de años no elevado, irreversibles, y con ello poner en peligro muchas especies, entre ellas la humana, e incluso la totalidad de las formas de vida de la Tierra.

Véase **Aerosol; Atmósfera; Atmósfera, evolución; Oxígeno**



Durante mucho tiempo se ha mantenido una apasionante polémica científica sobre si la primitiva atmósfera tiene su origen en parte de la nebulosa gaseosa, atrapada en el proceso de formación de la Tierra, o si es de origen posterior, consecuencia de la liberación de gases por efecto del vulcanismo. En cualquier caso, esta atmósfera inicial debió ser especialmente densa y opaca, compuesta principalmente de metano, amoniaco, hidrógeno y nitrógeno, que la hacían extraordinariamente reductora. Con el paso del tiempo, las emisiones de vapor de agua procedentes del interior del globo fueron modificando los componentes de la hidrosfera y de la atmósfera, que pasaron a estar formadas por dióxido de carbono, nitrógeno y agua. Con la aparición hace 2.000 millones de años de algas capaces de realizar la fotosíntesis, comienza la producción masiva de oxígeno, que pasa del agua a la atmósfera, aumentando lentamente su concentración; al alcanzar ésta el 1 % de la actual, se dan las condiciones precisas para el establecimiento de la capa de ozono, que al bloquear las radiaciones ultravioleta letales permite que las primitivas formas de vida se reproduzcan rápidamente y abandonen el medio acuático para comenzar a establecerse sobre la superficie terrestre. Los tres esquemas muestran las etapas sucesivas de la formación de la atmósfera. Aunque la máxima concentración de ozono se da en la baja estratosfera, las actividades industriales producen ozono en las capas de aire cercanas al suelo, generando, entre otros efectos nocivos, un gran número de afecciones de garganta, degradación de plásticos, etc. Una red de instrumentos emplazados en tierra y embarcados en satélites capta de forma continua la concentración del ozono total atmosférico. Los datos son enviados al Centro Mundial del Ozono, desde donde se reenvían a los centros de investigación de la atmósfera para proceder al estudio de su evolución en el tiempo. Cada cuatro años, científicos de todos los países se reúnen para estudiar y evaluar los avances que se han producido y si es necesario elevar a sus gobiernos recomendaciones tendentes a evitar el deterioro de la capa de ozono.

Paladio y rutenio

NOMBRE	Paladio
SIMBOLO	Pd
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del nombre del asteroide *Palade*
N. ATOMICO	46
PESO ATOMICO	106,4
ESTADO NATURAL	se encuentra en aleación con el platino y el níquel
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	W. H. Wollaston (1804)
PRODUCCION	subproducto de la metalurgia del níquel
P. f. (°C)	1.555
P. eb. (°C)	2.540
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	12
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal blando y dúctil, usado como catalizador en las hidrogenaciones y a veces como sustituto del platino en joyería

El paladio y el rutenio son dos miembros, generalmente poco conocidos, del grupo de metales de la familia del platino. Aunque el platino es un metal precioso, caro y con numerosas aplicaciones, el paladio y el rutenio no son menos importantes. Todos los elementos de la familia del platino se encuentran, en estado libre, en forma de pepitas y de escamitas planas, mezclados entre la arena y la grava, lo que hace muy difícil su separación. Se emplean generalmente en campos de aplicación similares. Los otros elementos de la familia del platino son el rodio, el osmio y el iridio.

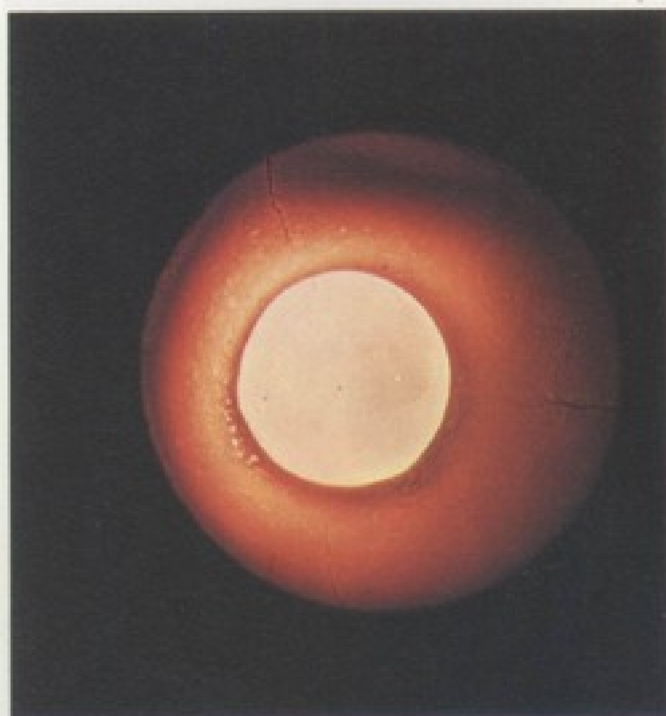
Elementos del grupo del platino Todos lo elementos de esta familia son metales que poseen un nivel de actividad química relativamente bajo. Se encuentran, en su estado natural, asociados con minerales de diversos metales como cobre, hierro, níquel, cromo y, muy a menudo, con minerales auríferos; mediante el lavado de las arenas platiníferas, se obtienen concentrados con un 30% de metales listos para ser refinados. Los metales de la familia del platino se extraen a escala industrial en Sudbury (Ontario, Canadá), como subproductos del refinado del níquel, así como en Sudáfrica, como subproductos de la extracción del oro. El yacimiento más importante se encuentra, sin embargo, en los Montes Urales en la Unión Soviética. Una vez extraído el mineral, se emplean métodos complejos para separar los diversos elementos.

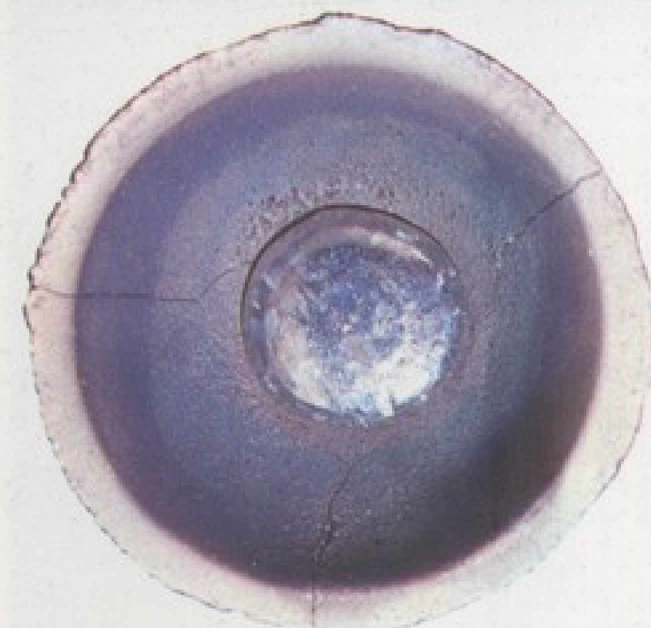
El platino ha sido el primero de estos elementos que fue usado por el hombre; en efecto, el platino (o una aleación a base de platino) ya era trabajado por los indios precolombinos. El platino fue descrito por primera vez en 1748 por Antonio de Ulloa, matemático y marino español. La denominación de *platina* (despectivo y diminutivo de plata) aportada por los españoles ha dado origen a su nombre actual. Empleado en el siglo XVIII para adulterar el oro, es hoy día mucho más caro que éste.

El rodio, el paladio, el osmio y el iridio fueron descubiertos entre 1802 y 1804 por un grupo de científicos que estudiaban los residuos derivados de la separación del platino de los minerales. El paladio tomó el nombre del asteroide Palade, descubierto en aquella época. Es el elemento más importante de los platinoides y es muy usado en las reacciones catalíticas por la facilidad con la que cede el hidrógeno atómico después de haber sido absorbido en grandes cantidades. El osmio, de intenso olor, deriva su nombre de la palabra griega que significa "olor". Iridio deriva de la palabra griega que significa "arco iris" y debe tal nombre a los vivos colores de sus compuestos. Rodio deriva de la palabra griega que significa "rosa" dado el color rojo de sus compuestos. Finalmente, el rutenio, que deriva del antiguo nombre ruso "Rutenia", fue descubierto más tarde, en 1844, por K. Claus. Se encuentra en la Naturaleza en estado libre asociado al platino y en algunos sulfuros, como, por ejemplo, el sulfuro de rutenio, que constituye el mineral alurita, acompañante habitual del platino.

Los seis miembros de la familia del platino se disponen en un bloque de 2 líneas y 3 columnas en la tabla periódica de elementos: corresponden los tres primeros (rutenio, rodio y paladio) al grupo 8a del período 5; los tres restantes (osmio, iridio y platino) pertenecen al grupo 8a del período 6, siendo estos últimos elementos los de mayor densidad (la densidad del osmio es 22,7 g/cm^3).







PALADIO	
Hexacloruro de amonio y paladio	$(NH_4)_2PdCl_6$
Cloruro de paladio	$PdCl_2$
Cloruro de diaminpaladio (II)	$Pd(NH_3)_2Cl_2$
Nitrito de diaminpaladio (II)	$Pd(NH_3)_2(NO_2)_2$
Nitrato de paladio	$Pd(NO_3)_2$
Cloruro de disodio y paladio	Na_2PdCl_4
Acetato de paladio	$Pd(CH_3COO)_2$
RUTENIO	
Dióxido de rutenio	$RuO_2 \cdot nH_2O$
Nitrato de rutenio (II)	$Ru(NO_3)_3$
Tricloruro de rutenio	$RuCl_3 \cdot nH_2O$

Aplicaciones Casi todas las aplicaciones de los elementos de la serie del platino se basan en dos propiedades comunes a todos ellos: el bajo nivel de actividad química y la capacidad de actuar como catalizadores, esto es, como sustancias que favorecen las reacciones químicas sin ser consumidas durante el desarrollo de éstas. Por lo general actúan disminuyendo la energía de activación necesaria para que transcurra la reacción entre diversas sustancias.

El paladio, por ejemplo, no reacciona con los gases presentes en la atmósfera y por tanto no se oscurece al contacto con el aire. Por tal motivo, es un metal muy utilizado en joyería. Es también utilizado en la preparación de materiales para contactos eléctricos. El paladio además no es atacado por los ácidos contenidos en los alimentos, por lo que se usa ventajosamente para empastes en odontología. El paladio

NOMBRE	Rutenio
SIMBOLO	Ru
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	de *Rutenia*, nombre medieval ruso
N. ATOMICO	44
PESO ATOMICO	101,07
ESTADO NATURAL	generalmente aleado con oro, plata y cobre o con minerales de estos elementos
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	K. Claus (1844)
PRODUCCION	subproducto del refinado del platino
P. f. (°C)	2.250
P. eb. (°C)	3.900
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	12,3
PROPIEDADES Y APLICACIONES	se usa en aleación con el paladio para contactos eléctricos; las aleaciones (rutenio y osmio, iridio o rodio) son muy duras y por ello aptas para pernos de sujeción.

posee también una excelente capacidad de absorber hidrógeno, (hasta 900 veces su volumen). Calentando sucesivamente el paladio que contiene hidrógeno absorbido, se puede separar nuevamente el hidrógeno. Esta característica convierte al paladio en elemento muy útil para numerosas aplicaciones industriales que requieren el empleo del hidrógeno. La absorción del hidrógeno se realiza en paladio finamente dividido con el fin de aumentar la superficie expuesta a la atmósfera de hidrógeno. El hidrógeno puede ser cedido, a mayor temperatura, en estado atómico (más reactivo que el molecular). De aquí su empleo en reacciones de hidrogenación. El rutenio se añade al platino y a otros elementos de la serie del platino para hacerlos más resistentes y menos corrosibles. Los metales que se obtienen se emplean en joyería, en contactos eléctricos y en las plumillas de las plumas estilográficas.

Véase **Catálisis y catalizadores; Platino**



El paladio, el más importante de los metales de la familia del platino, es obtenido sobre todo como subproducto de la extracción metalúrgica del níquel. En la secuencia de la página anterior, el paladio en estado de esponja metálica que, debido a un tratamiento de fusión, es transformado en un metal compacto que puede posteriormente laminarse. En la tabla se han reproducido los compuestos del paladio y del rutenio que encuentran más aplicaciones prácticas. Arriba, a la derecha, aspecto del rutenio metálico. Este metal, duro y frágil, es obtenido como subproducto del refinado del platino. El rutenio encuentra su principal aplicación en ser aleado con el platino y el paladio, a los cuales confiere mayor dureza. A la derecha, vista parcial de una planta para la preparación de catalizadores, entre ellos, catalizadores de paladio. El paladio es un buen catalizador en reacciones en las cuales hay que introducir átomos de hidrógeno en un compuesto orgánico: posee, en efecto, la característica de absorber hidrógeno molecular con mucha facilidad cuando el metal está finamente subdividido (para aumentar su superficie) y cederlo en estado atómico, favoreciendo así la reacción.

Paleomagnetismo

La primera característica que se atribuyó a la Tierra, a parte de su esfericidad, fue el magnetismo. Ya en el siglo II a. de C. se había observado el fenómeno magnético en los minerales que contenían hierro, en particular en la magnetita. En el siglo XVII William Gilbert, médico de Isabel I de Inglaterra, escribía el primer tratado científico sobre este fenómeno, resumiendo en él sus propias observaciones. El campo magnético terrestre se representaba, ya por entonces, mediante líneas de atracción magnética convergentes en los llamados polos magnéticos, situados junto a los polos norte y sur geográficos. El ángulo entre el polo geográfico y el magnético (al que señalan las brújulas) medido en cualquier punto de la Tierra constituye la declinación magnética en ese punto y ya en esa época se reconocía que su valor variaba con el tiempo. Esto quiere decir que los polos magnéticos no permanecen fijos, sino que experimentan lentos desplazamientos periódicos, que reciben el nombre de seculares. Hoy en día se supone que el magnetismo terrestre tiene su origen en la dinámica de los materiales ferrosos en estado de fusión que constituyen la parte más externa del núcleo central de nuestro planeta. Esos movimientos, favorecidos por las altas temperaturas reinantes, generan, de acuerdo con la teoría de la dinamo, un campo magnético que envuelve el planeta, cuyas líneas de fuerza nacen y se cierran en los polos de un eje, casi coincidente con el de rotación de la Tierra, cuya posición varía con el tiempo. Cuando un volcán entra en erupción como consecuencia de una fractura de la corteza terrestre arroja sobre la superficie masas de roca fundida en forma de coladas de lava. A medida que ésta se va enfriando, los minerales que contienen hierro se magnetizan según la dirección del campo magnético terrestre en ese punto y en ese momento. El magnetismo adquirido por la roca se llama *termorremanente*, pues se conserva indefinidamente mientras que ésta no se caliente por encima de una temperatura determinada, llamada *temperatura de Curie*. Como consecuencia de la intensa erosión a que están sometidas las rocas ígneas, los minerales magnéticos, más resistentes al desgaste, se liberan y pasan a formar parte de los sedimentos arenosos. Debido a la fluidez del medio de sedimentación, las partículas magnéticas tienden a orientarse según el campo magnético terrestre, conservando esa disposición una vez que el sedimento se ha estratificado. Este magnetismo remanente se llama deposicional. Se denomina *Paleomagnetismo* a la ciencia que estudia del magnetismo fosilizado en los minerales de las rocas. La información que de él se obtiene ha contribuido en gran medida a la formulación de la teoría de la deriva continental y de la expansión de los fondos oceánicos (tectónica de placas).

Movimientos de los polos e inversiones magnéticas El polo norte magnético actual se localiza en el noroeste de Groenlandia, a casi 12° del polo norte geográfico. Sin embargo, el polo magnético no siempre ha estado en esa posición. En un tiempo, los geólogos creyeron que los polos magnéticos se desplazaban frecuentemente, convencimiento que se deriva del magnetismo remanente en rocas de distintas edades y de diferentes continentes. Así, se pensaba que el polo magnético se había localizado en un tiempo en Japón, luego en Siberia, en América del Norte e incluso en la India y otros lugares. Sin embargo, hoy en día se sabe que son realmente los continentes los que se han movido, mientras que los polos magnéticos sólo han experimentado ligeras oscilaciones en torno a los polos geográficos.

De acuerdo con la teoría de la tectónica de placas, la corteza terrestre está fragmentada en una serie de grandes "placas" móviles que se desplazan entre sí, transportando sobre ellas las masas continentales. El estudio del magnetismo remanente en rocas de una misma edad pero localizadas en distintos continentes permite demostrar, mediante los giros y traslaciones adecuadas de éstas hasta lograr la coincidencia de los polos magnéticos de todas las muestras, que hubo un tiempo en que todos los continentes estaban unidos, formando un único supercontinente. Posteriormente se separaron hasta alcanzar la posición que muestran en la actualidad. Este proceso se ha repetido probablemente varias veces en la historia de la Tierra.

Los estudios paleomagnéticos han revelado también que con el paso del tiempo, el campo magnético invierte su polaridad. En los últimos 76 millones de años, esta inversión se ha repetido 171 veces. En otras palabras, los polos norte y sur se intercambian periódicamente. El campo magnético actual positivo lo es desde hace casi 700.000 años. Sin embargo, su intensidad ha ido fluctuando a lo largo del tiempo con distintos ascensos y descen-



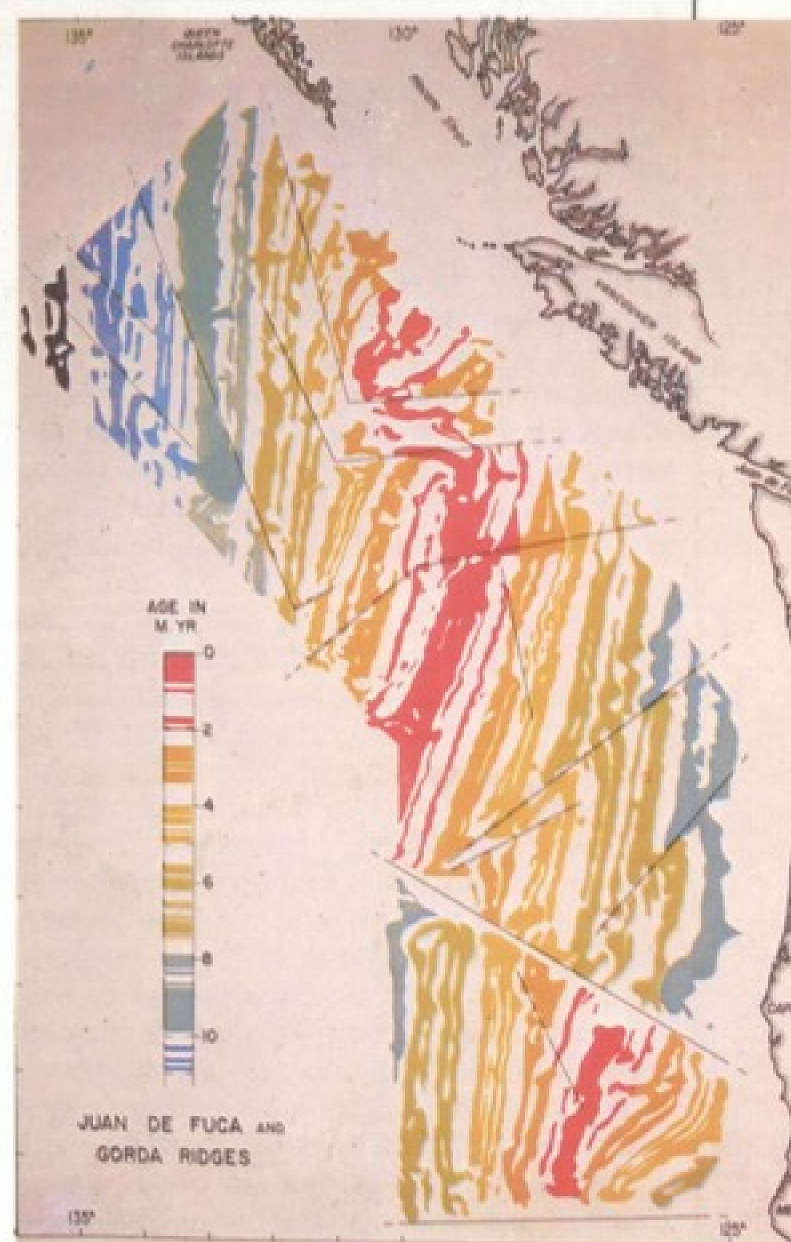
El campo magnético terrestre no es estable, sino que fluctúa, entre otras causas, en función del flujo de partículas eléctricas (viento solar) y de la radiación cósmica procedente del Sol. Además, el campo magnético terrestre está sujeto a lentos cambios ↓ periódicos de polaridad, lo que se refleja en la inversión de las posiciones de esos polos. Por otra parte, la lava y el magma expulsados por los volcanes terrestres y por las fallas → oceánicas conservan, tras enfriarse por debajo de la temperatura de Curie, la polaridad del campo magnético terrestre en esos →



sos. Así, hace unos 2.000 años la intensidad era un 50% superior a la actual y ha venido decreciendo desde entonces. En los últimos 100 años, el descenso ha sido de un 6% aproximadamente. Esto podría significar que, de una forma gradual, el campo magnético está iniciando, una vez más, una inversión de polaridad.

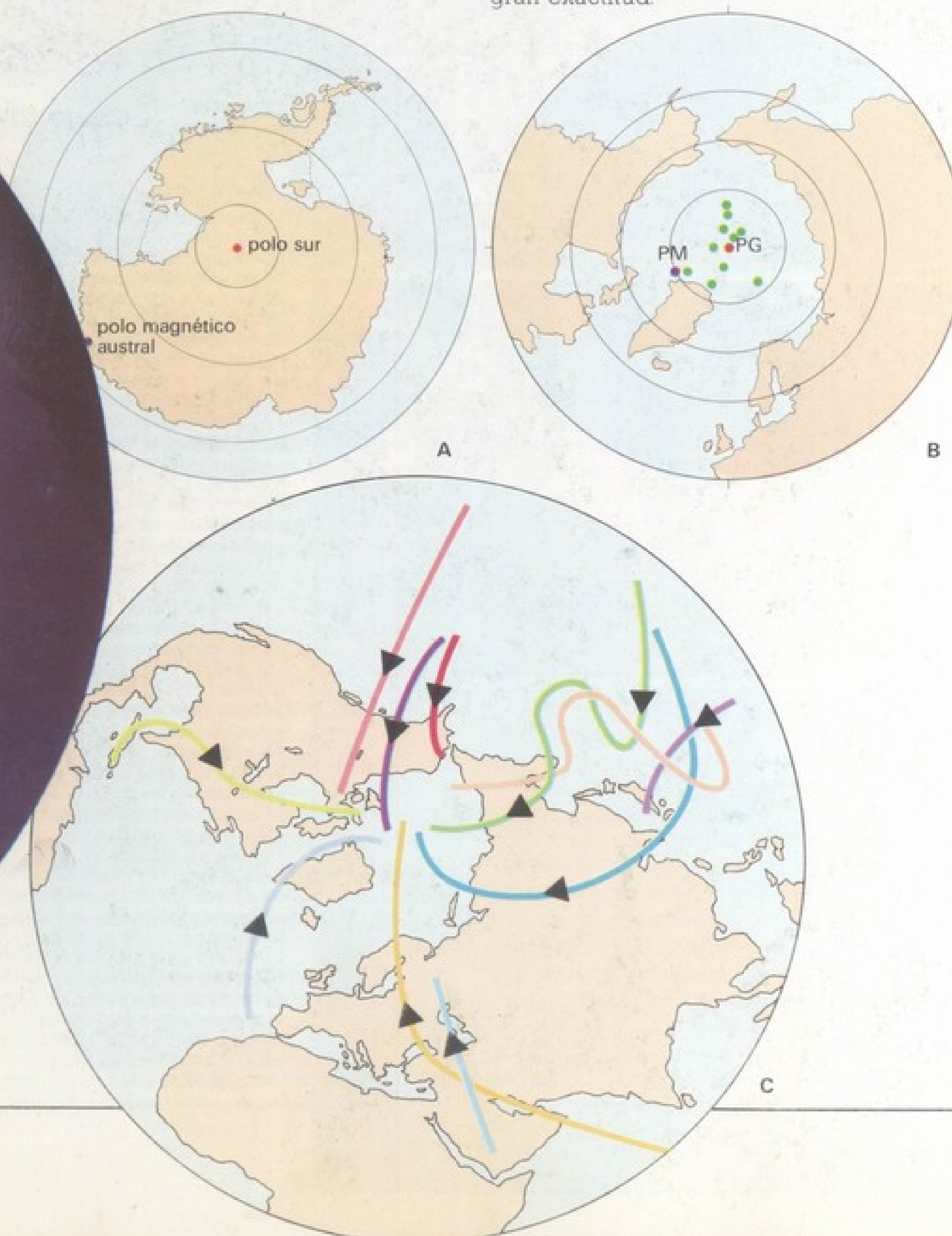
→ momentos. Las distintas orientaciones magnéticas dejadas en las diferentes capas geológicas son, por lo tanto, el testimonio de la deriva de los continentes. Arriba, un ejemplo de cómo varía la magnetización según la edad de las rocas. A la derecha, las anomalías magnéticas alrededor de la dorsal Juan de Fuca, al suroeste de la isla de Vancouver (Canadá).

Anomalías magnéticas Toda roca magnetizada genera su propio campo magnético, aunque su intensidad sea mucho más débil que la del campo magnético regional. Las rocas que forman la corteza terrestre pueden poseer un campo magnético remanente cuya orientación polar sea diferente a la del campo magnético actual. Se dice entonces que la roca presenta una *anomalía magnética*, que será positiva o negativa según que esté reforzada o disminuida por el campo magnético regional. El magnetismo que presenta una roca es el resultado de la combinación de ambos campos. Por ello, en los estudios de paleomagnetismo ambos componentes deben determinarse con gran exactitud.



Cuando el campo magnético medido en un punto del terreno difiere del campo magnético regional, significa que, probablemente, existe, bajo el mismo, material magnetizado. Este podría ser un meteorito oculto, antiguos relieves fosilizados por nuevas formaciones geológicas, obras humanas —como por ejemplo un oleoducto— o posibles yacimientos metálicos. Las franjas alternas de magnetismo positivo y negativo paralelas a las dorsales del fondo oceánico constituyen anomalías a gran escala y han sido provocadas por la expansión de los fondos marinos. Cada banda está constituida por material lávico basáltico, de diferente polaridad magnética, inyectado en distintas épocas geológicas en la grieta central de la dorsal.

Véase **Continente; Corteza terrestre; Deriva continental; Magnetismo; Tectónica**



El mapa A, a la izquierda, muestra la posición del polo sur magnético respecto al polo sur geográfico. A su derecha, en B, la posición de los polos norte paleomagnéticos obtenida a partir de rocas de menos de 7.000 años de edad. Además, se indican las respectivas posiciones actuales del polo norte geográfico (PG) y del polo norte magnético (PM). La posición de cada polo paleomagnético se ha obtenido haciendo una media de los datos recogidos en series de muestras de roca que abarcan períodos de algunos centenares de años. Se ha seguido este método para eliminar la dispersión producida por las oscilaciones del campo magnético. Abajo, en C, las curvas del desplazamiento aparente del polo norte, obtenidas analizando las rocas de varios continentes. Ese desplazamiento es "aparente", puesto que no sólo está causado por las variaciones del polo magnético, sino también por la deriva de los continentes.

Paleontología

La localización de conchas y otros restos fosilizados de animales marinos en zonas continentales, muy alejadas del mar, tiene una significación que ya fue objeto de estudio por las antiguas culturas griegas.

Los fósiles son restos de animales o vegetales que poblaron la Tierra en épocas remotas, que se conservaron en los sedimentos, y que se encuentran ahora asociados a las rocas sedimentarias. El estudio de los fósiles es muy valioso para determinar la edad de determinadas rocas, la ordenación de los estratos en el tiempo y el medio ambiente en que se formaron los sedimentos que los contienen.

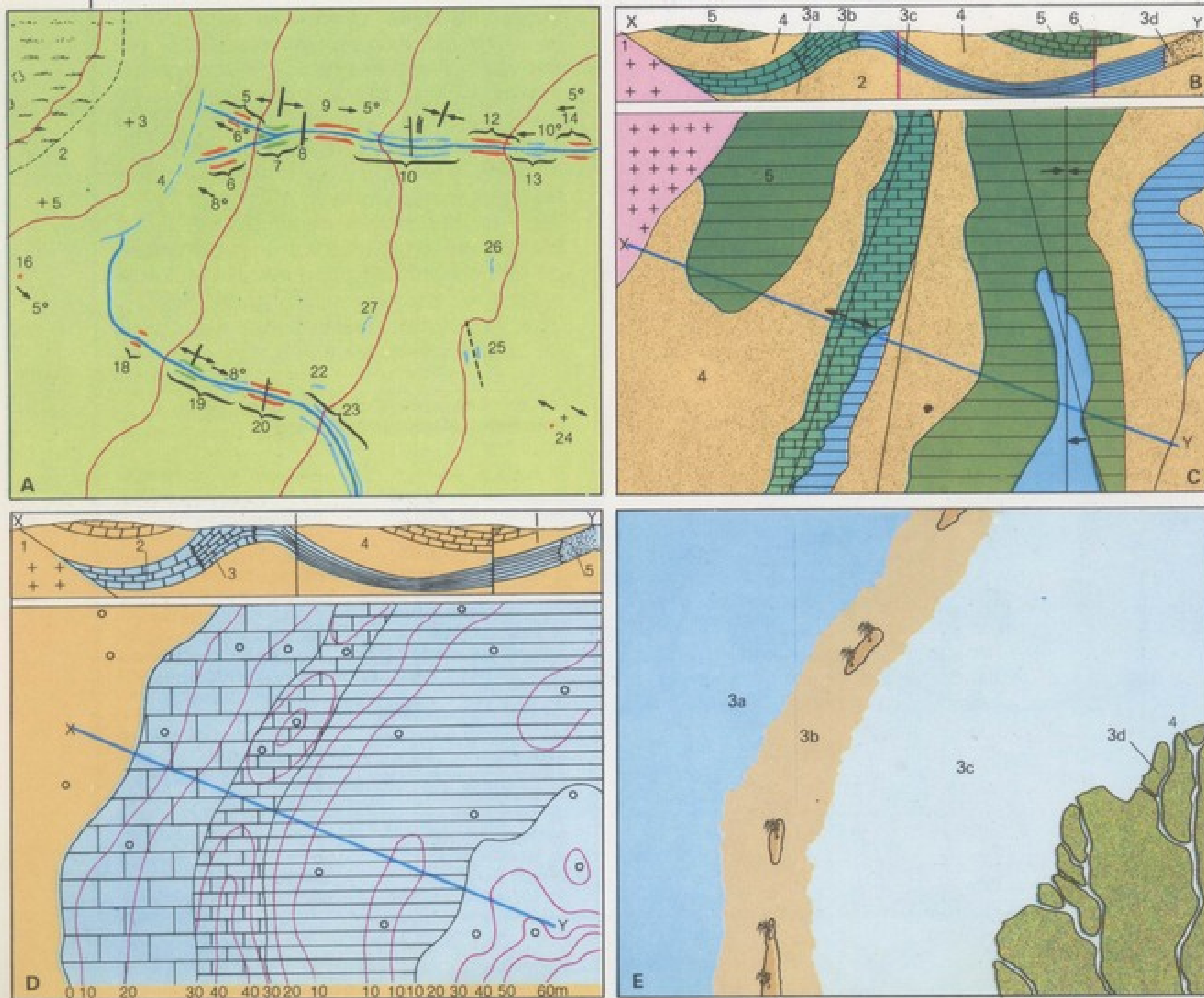
La Paleontología es la ciencia que se ocupa del estudio de los fósiles en todos sus aspectos, analizando en detalle sus estructuras. Es una ciencia muy compleja, que ocupa una posición intermedia de enlace entre la Geología y la Biología y que emplea los medios de investigación propios de ambas. La Paleontología pretende llegar a un conocimiento total de los seres vivos que habitaron la Tierra en épocas pasadas: su modo de vida, las condiciones bióticas y ambientales en que se desarrollaron, las causas de su muerte o desaparición, las posibles relaciones genéticas entre ellos, el estudio de su evolución, etc. Todo ello resulta posible gracias a la existencia de los restos fósiles de tales organismos. La Paleontología estratigráfica es la Paleontología aplicada a la Geología, y su finalidad principal consiste en la determinación de la edad geológica relativa de los terrenos, ya que los fósiles asociados a los estratos son muy útiles para determinar la época en que éstos se sedimentaron. La evolución es irreversible, y cada resto fosilizado corresponde a una época determinada.

Los fósiles Se denomina fósil a todo resto vegetal o animal de épocas remotas que se ha conservado en los sedimentos y que puede encontrarse asociado a rocas sedimentarias. El concepto de "fósil" abarca un espectro muy amplio: conchas, caparazones y partes óseas de animales son los restos más frecuentes, aunque a veces sólo se encuentra el "molde", que reproduce los detalles de la parte externa de las conchas, huesos, hojas e incluso de las partes blandas. También son fósiles las "huellas" de la actividad del animal, como pistas de reptación —si el animal se arrastraba por el fango— o huellas de su paso por sedimentos no consolidados, como es el caso de las huellas dejadas por dinosaurios. En otros casos se conservan fósiles de los huevos o excrementos del animal. También se dan fenómenos extraordinarios de conservación, como es el caso de mamuts conservados en aluviones helados de Siberia, o de insectos atrapados en gotas de ámbar. Sin embargo, en estos casos no se ha producido el fenómeno de fosilización.

El término fósil también se utiliza como adjetivo al estudiar grietas de desecación de sedimentos o marcas dejadas por el oleaje, y que han quedado fosilizadas por los sedimentos superpuestos, aunque estos fenómenos no constituyen materia de estudio paleontológico.

Después de morir, cualquier individuo vegetal o animal es destruido por acción de varios factores: fenómenos atmosféricos, depredadores y otros factores mecánicos, y por último la acción de los microorganismos, hasta llegar a su completa desaparición. Para que esto no ocurra, es necesario que los restos orgánicos queden inmediatamente incluidos en algún material protector que evite la acción de los microorganismos. Pero aun así, las partes blandas rara vez se conservan, y suelen fosilizar únicamente las piezas esqueléticas, tanto mejor cuanto más mineralizadas estén. Sólo en casos excepcionales se encuentran individuos enteros, por ejemplo, cuando éstos quedan incluidos en materiales sometidos a temperaturas muy bajas, como es el caso ya citado de algunos mamuts conservados en hielo, o de otros animales incluidos en materiales asépticos, como petróleo, resinas, etcétera.

Aunque abundante, el registro fósil proporciona sólo una vaga idea de la variedad de flora y fauna que pudo existir en el pasado. El complejo proceso de la fosilización es un fenómeno que sólo ocurre excepcionalmente. Cuando un organismo muere, lo normal es su paulatina desaparición por efecto de la acción mecánica, atmosférica y microbiana, con lo cual no queda rastro del individuo. Muy raramente se han encontrado impresiones de individuos formados sólo de partes blandas,



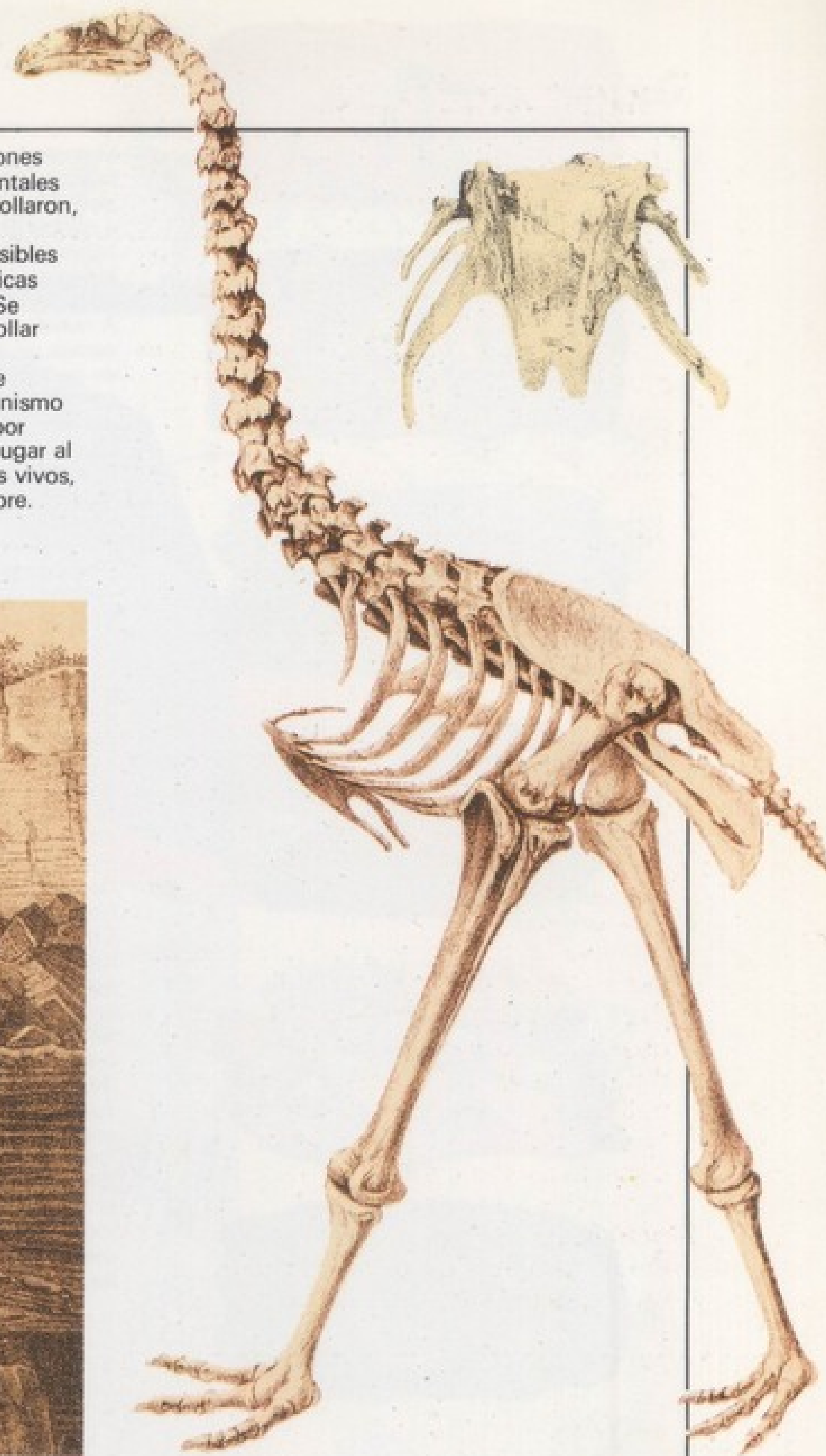
Para la construcción de un mapa paleogeográfico se parte de un mapa topográfico sobre el que se realizan anotaciones acerca de los materiales geológicos que afloran y de sus estructuras, sinclinales, etc. (A). Con estos datos podemos ya construir el mapa geológico (C), del cual, a su vez, podemos obtener un corte geológico (B). Para la datación de las unidades litológicas cartografiadas se utilizan los fósiles hallados en las rocas sedimentarias: en el corte podemos identificar una formación del Carbonífero (3), compuesta por calizas (3a), dolomías (3b), arcillas (3c) y areniscas (3d). También aparecen otras formaciones más recientes: dolomías (5), arcillas (6), arenas (4), y una masa granítica (1); la formación más antigua es la arenisca (2). El mapa de *isopacas* (D) muestra las variaciones de espesor que sufre una misma unidad (3). Los números de abajo indican el espesor en metros que marca cada una de las líneas isopacas. Por último, el mapa paleográfico (E) muestra una interpretación de los ambientes sedimentarios en que se formó la unidad 3: 3d es un delta, 3c es una zona próxima al delta, 3b es una línea paralela a la costa de arrecifes coralinos, que eventualmente podrían emerger dando lugar a pequeñas islas, y 3a es la zona externa del arrecife.

El geólogo y químico Alexandre Brongniart fue autor de importantes tratados de Paleontología, y fue uno de los pioneros en el estudio de los trilobites. En uno de sus grabados, realizados en 1821, se observa las excavaciones en una formación de pizarras carbonosas próximas a la localidad de Saint Etienne.

Vemos a la derecha un esqueleto completo de *Dinornis robustus*, ave extinguida de Nueva Zelanda, que podría superar los tres metros de altura. Se extinguió simultáneamente a la colonización de la isla, hacia 1770. Fue estudiada primeramente por el paleontólogo inglés Richard Owen, en 1879.

A finales del siglo XIX, uno de los principales objetos de la Paleontología era la reconstrucción de animales fósiles. La teoría de la evolución contribuyó a transformar la Paleontología en una ciencia que trataba de conocer numerosos aspectos de los seres vivos de épocas remotas: su modo de vida, condiciones bióticas y ambientales en que se desarrollaron, causas de su desaparición, posibles relaciones genéticas entre ellos, etc. Se pretendía desarrollar unos esquemas filogenéticos que revelaran el organismo primigenio que por evolución diera lugar al resto de los seres vivos, incluido el Hombre.





como medusas o gusanos. En general, el proceso de fosilización está vedado a los organismos que no posean algún tipo de esqueleto. Estos requerimientos explican por qué el registro fósil es una mínima muestra de la gran variedad biótica que pudo existir en el pasado.

¿En qué consiste el proceso de fosilización? En primer lugar, como ya se ha señalado, es necesario que tras la muerte los restos orgánicos queden incluidos en algún material que de algún modo los preserve de la natural descomposición. Por ejemplo, el cadáver de un dinosaurio que se hunda en el fango, y que posteriormente se cubra de sedimentos, se habrá librado de la acción de los depredadores. Este hecho facilitará el proceso de fosilización, y el esqueleto fosilizado de aquel dinosaurio llegará a nuestros días incluido en rocas sedimentarias. Lo mismo ocurriría con un trilobites (artrópodo marino extinguido) que al morir fuera recubierto rápidamente por sedimentos marinos.

El verdadero proceso de fosilización supone una serie de transformaciones químicas que reemplacen los compuestos orgánicos del organismo muerto por otros compuestos minerales, como calcita, sílice, etc. En el caso más favorable la sustitución se realiza molécula a molécula, y entonces se conservan en el fósil las estructuras más delicadas. En general, sólo fosilizan las partes esqueléticas de los organismos. La mayoría de las veces, lo que llega hasta nosotros a través del proceso de fosilización no es ni siquiera el resto esquelético, sino tan sólo su molde. Este molde es una reproducción del fósil y está formado por un depósito mineral en el hueco que dejó el fósil verdadero cuando fue disuelto por aguas carbónicas, (es decir, ricas en CO_2 disuelto). El molde presenta externamente la misma forma y ornamentación del fósil auténtico.

También puede ocurrir que algunos restos de consistencia porosa, como huesos o leños vegetales, se impregnen de soluciones mineralizadas que van solidificando paulatinamente aquellos restos. Tal es el caso del famoso bosque petrificado de América del Sur. En otros casos, la fosilización va siempre acompañada por una recristalización. Esto ocurre cuando el agua cargada con elementos minerales penetra en la corteza terrestre y entra en contacto con los restos fósiles, provocando una disolución y una posterior cristalización que rellena los huecos y grietas de la roca.

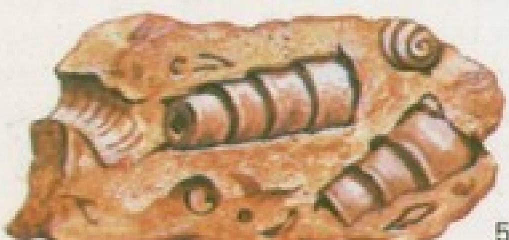
Bioestratigrafía La evolución de los seres vivos, y la sedimentación en estratos superpuestos, son dos procesos que se han desarrollado simultáneamente. El conocimiento de la edad de los estratos y del orden cronológico en que se depositaron resulta de vital importancia para conocer la historia geológica de la Tierra. La finalidad principal de la Paleontología Estratigráfica es determinar la edad geológica de los estratos mediante el estudio de los fósiles que se encuentran en sus rocas sedimentarias. Cada animal o vegetal fosilizado corresponde únicamente a una época determinada, que dura pocos millones de años (un millón de años es un tiempo muy breve desde el punto de vista geológico). Pasada esa época la especie se extingue o evoluciona a formas distintas. Los "fósiles característicos" se encuentran exclusivamente en determinados estratos, y no en los anteriores o posteriores. La existencia de estos "fósiles guía" permite correlacionar series estratigráficas que se encuentran en distintos lugares de la Tierra. Por ejemplo, el *Triceratops* fue un dinosaurio herbívoro característico del Cretácico de Norteamérica (el Cretácico tuvo una duración aproximada de 71 millones de años). También se han hallado


1

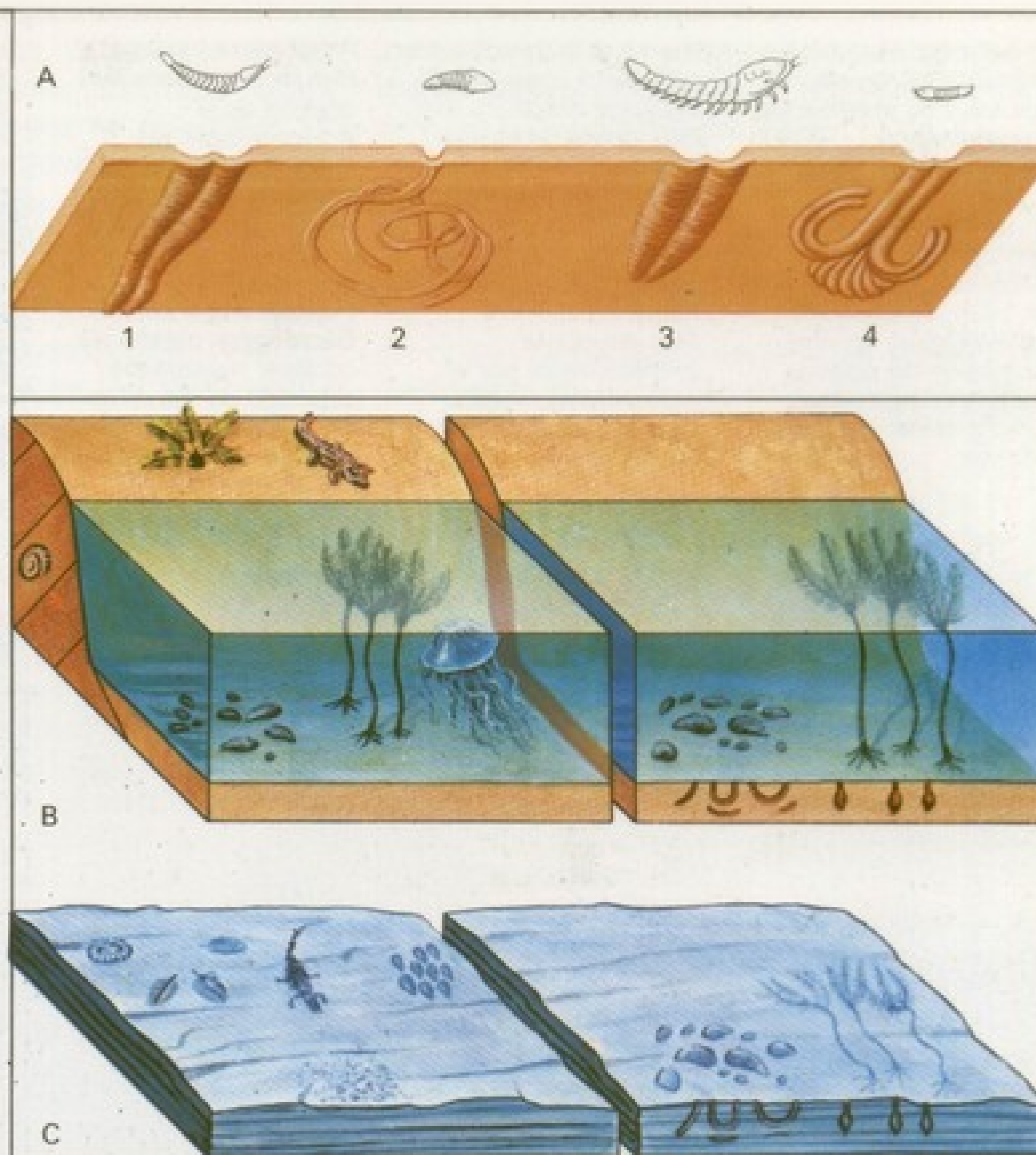

2


3

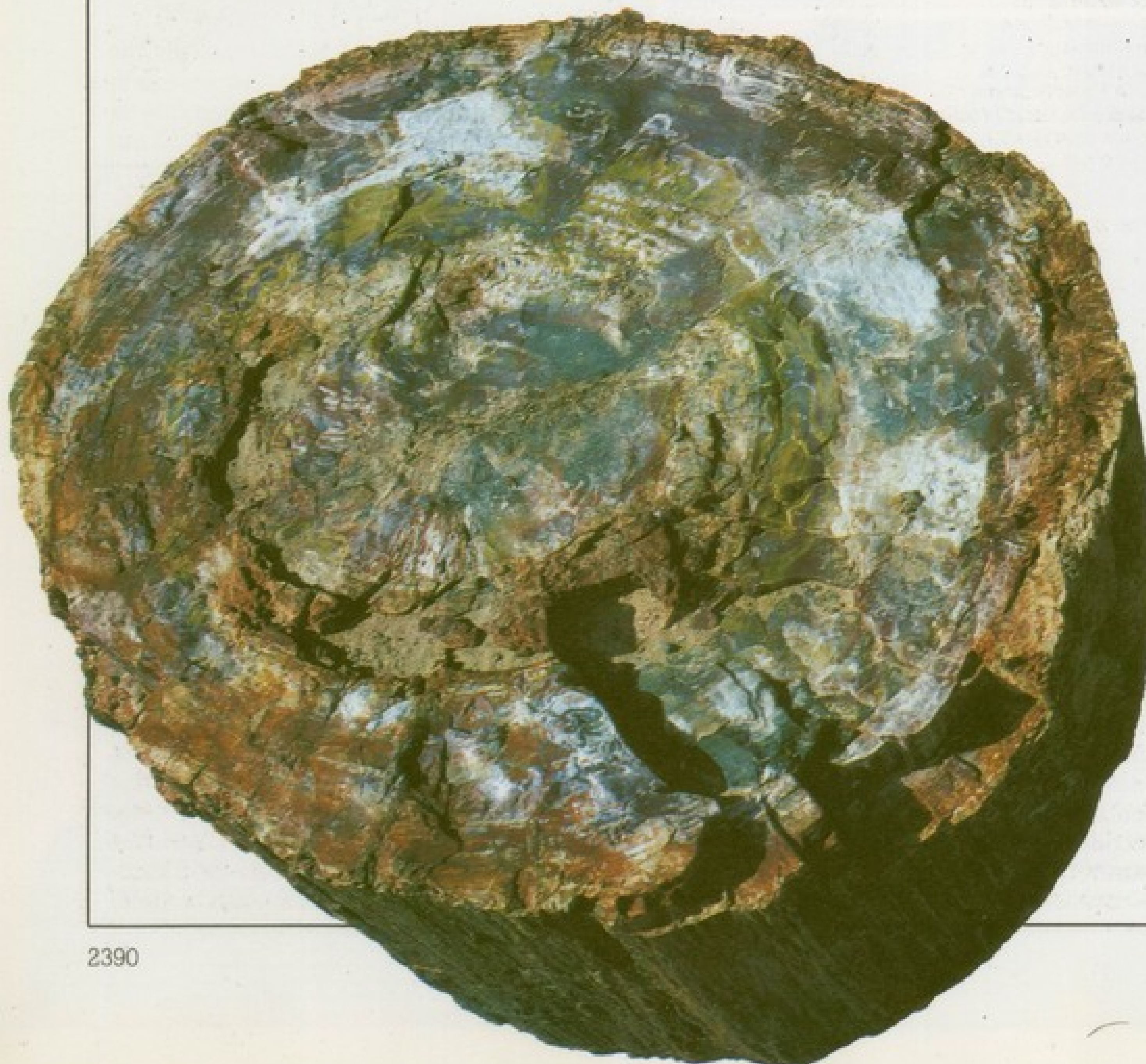

4


5


6



El proceso de fosilización permite reproducir en mayor o menor grado las características de los organismos vivos de épocas pasadas. A nuestra izquierda vemos un organismo en perfecto estado de conservación (1), otro del que sólo se conservan las partes esqueléticas (2), e impresiones de restos vegetales (3). En los casos favorables, el proceso de fosilización supone una sustitución, molécula a molécula, de compuestos orgánicos por compuestos minerales. Esto posibilita la conservación de estructuras delicadas (4), aunque la mayoría de las veces no se encuentra el fósil completo, sino restos fragmentados (5). Cuando el verdadero fósil es disuelto por aguas carbónicas, deja un hueco que puede rellenarse posteriormente por depósitos minerales. En este caso encontramos el "molde" del fósil, que presenta externamente la misma forma del fósil auténtico (6). En otros casos fosilizan las huellas de actividades del animal, como pistas de reptación, o cavidades donde habitaba el organismo (A). En (B) y (C), dos etapas de la formación de un yacimiento fosilífero. La asociación de animales y vegetales que viven en un biotopo recibe el nombre de *biocenosis*, de la cual vemos una reconstrucción en (B). La *tanatocenosis* es la acumulación de sus restos fósiles.



restos de *Triceratops* en Mongolia, lo que permite establecer una correlación entre ambas zonas de la Tierra. Salvo casos excepcionales, los dinosaurios no se utilizan como fósiles guía, pues además de encontrarse en formaciones geológicas de distinta edad, sus restos fósiles son muy escasos. En general, las técnicas estratigráficas suelen hacer uso de fósiles característicos que se encuentran exclusivamente en determinados estratos y que permiten establecer correlaciones entre ellos. Ejemplos de fósiles guía muy utilizados son los trilobites, los conodontos (que se supone serían piezas del aparato filtrante de algunos cordados del Paleozoico, y que son de tamaño microscópico), los también microscópicos foraminíferos (protozoos provistos de un caparazón calcáreo) y los ammonoideos, cefalópodos del Mesozoico con una concha arrollada en espiral. Para que un fósil guía sea realmente útil debe reunir varias condiciones: que se encuentre abundantemente en los estratos, (es decir, que posea facilidad de fosilización), que pertenezca a una especie de evolución rápida y sobre todo que tenga un área de dispersión geográfica muy extensa. Esta última cualidad depende de la aptitud de determinados grupos biológicos para desplazarse con rapidez; esto es más factible en los animales marinos que en los continentales. Los "fósiles característicos" que posean esta cualidad serán muy útiles para correlacionar series

En la página anterior, abajo, sección de un tronco fosilizado en el desierto de Arizona. Sobre estas líneas puede observarse un fósil de *Eurypterus remipes*, artrópodo quelicerado del Silúrico de América del Norte. Pertenece a la subclase de los Gigantostráceos, artrópodos acuáticos depredadores, de aspecto comparable al de los escorpiones actuales, que podían superar los dos metros de longitud. La ilustración de la derecha nos muestra algunos restos fósiles de la actividad de ciertos organismos: en A, las huellas de ciertos animales en reposo; En B y C se representan cavidades donde habitaban y actividades de nutrición respectivamente; y en D y E, aparecen algunas huellas de locomoción y rastros de reptación por sedimentos no consolidados. La Ichnología constituye la parte de la Paleontología que estudia los restos fósiles de las actividades biológicas.

estratigráficas que se encuentran en puntos alejados de la Tierra.

La filogenia del caballo En algunos casos, los restos fósiles permiten estudiar la evolución de determinadas especies. La familia de los Equidos suministra el registro más completo de la evolución en una serie animal, que culmina en los actuales caballos, asnos, cebras, etc. La familia de los Equidos pertenece a la Clase Mamíferos y al Orden Perisodáctilos (ungulados con un número impar de dedos). A este mismo orden pertenecen otras familias, como los Tapíridos y los Rinoceróntidos. El origen de los caballos se desconoce. El registro fósil empieza con el género *Hyracotherium* (o *Eohippus*) en el Eoceno inferior de América del Norte y Europa. Habitaba en los bosques y era un herbívoro ramoneador, de unos 28 cm de altura. Las patas anteriores tenían cuatro dedos funcionales, pero las posteriores sólo tres, estando el primer y el quinto dedo relegados a unos delgados apéndices sobre el hueso. Aunque el origen de los Equidos es desconocido, se supone que todos los Perisodáctilos tuvieron un antecesor común, dada la semejanza de los primeros representantes de las distintas familias.

Durante el Oligoceno, hace unos 37 millones de años, Norteamérica comenzó a separarse lentamente de Europa, lo que originaría una evolución distinta de los Equidos de cada continente, influida por las diferentes condiciones ambientales reinantes en cada uno de ellos. La temperatura de los continentes comenzó a bajar, lo que implicó también un cambio de vegetación: las praderas de abundantes gramíneas desplazaron a la antigua vegetación tropical. El *Mesohippus* del Oligoceno tenía aproximadamente el tamaño de un cordero, unos 60 cm de altura; era ya más parecido a los actuales caballos, y tenía tres dedos funcionales en cada pata. Debido al cambio de vegetación, en el transcurso del Mioceno se desarrollaron varias líneas evolutivas, en las que había formas ramoneadoras y formas herbívoras. La adaptación al régimen herbívoro se manifestó con cambios en la dentición. El género *Merychiprus*, del Mioceno, medía aproximadamente 1 metro de altura. También poseía tres dedos funcionales en cada pata, aunque se manifestaba ya un mayor desarrollo del dedo central. Es posible que utilizara los tres dedos para soportar el peso de su cuerpo durante la carrera, y se apoyara en los dedos centrales durante el reposo. Muchas de las líneas evolutivas que se habían desarrollado durante el Mioceno *(Anchitherium, Hypohippus y Archeohippus)* desaparecieron a finales del Pleistoceno (hace unos dos millones de años), e incluso alguna especie llegó a extinguirse durante el Plioceno. En este período se desarrollaron en América del Norte los primeros caballos provistos de un solo dedo, el *Pliohippus*, que más tarde se extendió por todos los continentes, excepto Australia. El *Pliohippus* fue el

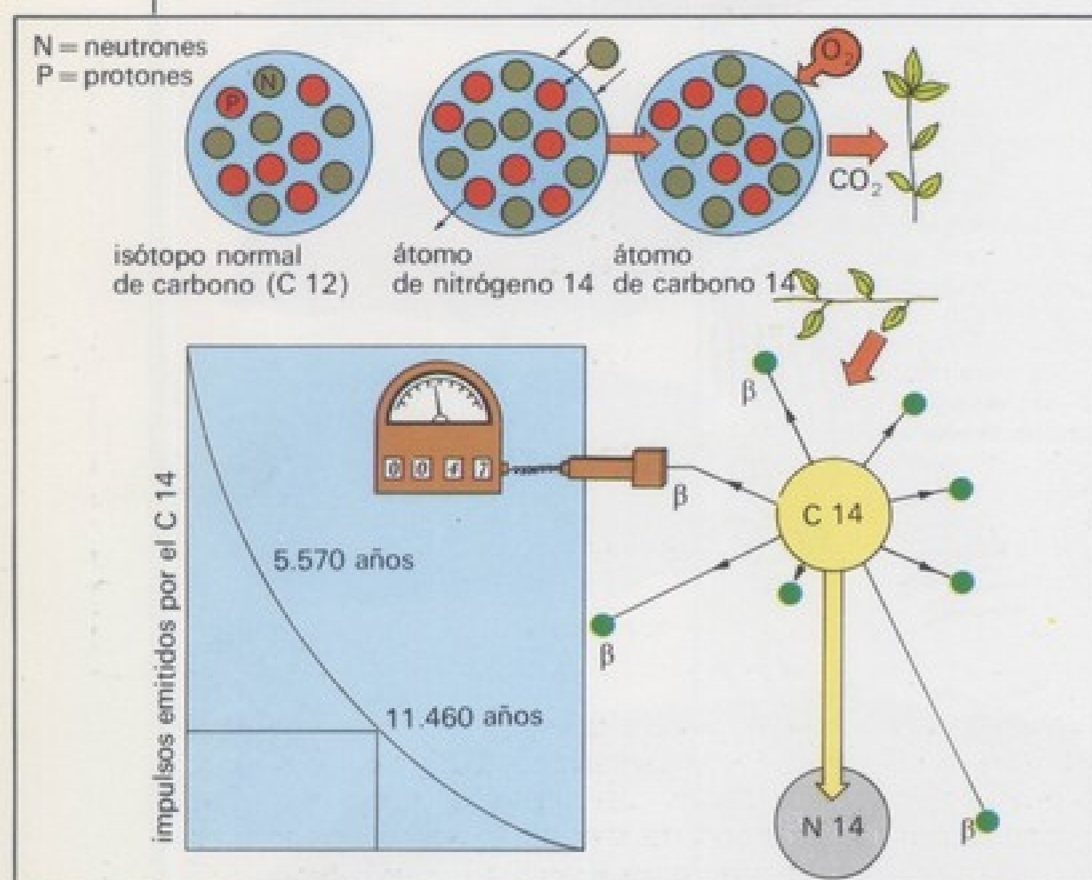
directo antecesor del caballo actual, género *Equus*, cuyas especies se desarrollaron en el Pleistoceno de América del Norte y tenían tamaños variados. Ya hemos señalado que gran parte del desarrollo inicial de la evolución de los caballos ocurrió en Norteamérica, aunque todas las líneas se extinguieron a finales del Pleistoceno. Los caballos salvajes que vivieron en América durante los últimos cinco siglos procedían todos de cepas introducidas por los primeros exploradores y colonos del nuevo continente.

La evolución de los Equidos ha sido reconstruida gracias al registro fósil, que incluye huesos y piezas dentarias. Los primeros restos fósiles del *Eohippus* fueron encontrados y descritos por Richard Owen en 1840. En un principio no se reconoció este género, de pequeño tamaño, como antecesor de los grandes caballos actuales, y Owen lo clasificó como *Hyracotherium*.

Aunque el registro fósil de la evolución de una especie sea muy completo, como es el caso de la familia de los Equidos, siempre existen formas intermedias entre los distintos estadios evolutivos de las que no se han encontrado fósiles.

El estudio de los fósiles Existen varias técnicas para el estudio de los fósiles. Se empleará una u otra de acuerdo con el tipo de ejemplar de que se trate. Pero antes de estudiar los fósiles es necesaria su recolección, operación que debe realizarse con mucho cuidado, pues de ella dependerá el éxito de los posteriores estudios. La herramienta para su recogida es el "martillo de geólogo", cuyo diseño permite fragmentar cuidadosamente las rocas, exfoliar pizarras, etc. Los fósiles deberán buscarse en rocas sedimentarias, aunque las que tienen naturaleza detrítica muy gruesa, como los conglomerados, suelen carecer de fauna. Cuando se trata de fósiles de gran tamaño, como es el caso de yacimientos de vertebrados, son necesarios trabajos auxiliares e incluso el empleo de un determinado número de obreros, para extraer los fósiles en las mejores condiciones posibles.

A finales del siglo XIX y principios del XX se emprendieron numerosas expediciones con el fin de encontrar restos fósiles de dinosaurios. Como dato anecdótico, cabe destacar la "apuesta" entre dos paleontólogos americanos, Othniel Charles Marsh y Edward Krinker Cope, por encontrar los restos fósiles de dinosaurio más grandes, completos y mejor conservados. Las expediciones dirigidas por cada uno de ellos dieron como resultado el hallazgo de importantes yacimientos de huesos de dinosaurios, como el yacimiento de Como Bluff, cerca de Wyoming, el de Lance Formation, en Colorado, o el de Judith River Formation, en Montana, todos ellos localizados en los Estados Unidos Occi-



El esquema adjunto muestra el fundamento de la datación por C 14. Este isótopo, junto con el C 12, forma parte del CO_2 atmosférico, que es fijado fotosintéticamente por los vegetales, transformado en compuestos orgánicos e incluido en las sucesivas cadenas alimentarias. Los elementos radiactivos, como el C 14, sufren una desintegración espontánea, a ritmo constante, dando lugar, después de una serie de transformaciones, a elementos estables que se van concentrando en los minerales y en las rocas correspondientes a medida que disminuye la cantidad del elemento en vías de desintegración. Para el estudio de formaciones geológicas recientes (Cuaternario) se emplea el método del C 14, que existe en el CO_2 del aire en una pequeña proporción frente al C 12 normal (isótopo estable del carbono). En las regiones altas de la atmósfera se forma C 14 a partir de N 14, por la acción de los rayos cósmicos, a un ritmo constante. El C 14 no es estable, y se desintegra proporcionando N 14 con emisión de partículas beta. Estudiando la cantidad actual de C 14 en diversos restos orgánicos (huesos, madera, turba, etc.), podemos conocer su edad geológica. Este método está limitado por la corta vida media del C 14, por lo que con él no se pueden datar edades más allá de los 70.000 años. En el cuadro inferior figuran otros elementos radiactivos empleados para determinar edades geológicas. El *período de semidesintegración* (tercera columna) es el tiempo que un elemento radiactivo necesita para reducir su masa a la mitad.

elemento radiactivo y tipo de partícula emitida	producto final de desintegración	período de semidesintegración (en millones de años)	límite de edades geológicas que permiten determinar	minerales y rocas en que se encuentra asociado
uranio-238 (α y β)	plomo-206	4.560	en teoría pueden medirse edades desde 300.000 años hasta 3.000 millones de años	minerales de uranio contenidos en rocas ígneas: circón, hornblenda, micas, etc.
uranio-234 (α y β)	plomo-207	713		rocas ígneas que posean suficiente cantidad de uranio y plomo para poder determinar su edad
torio-232 (α y β)	plomo-208	1.310		sólo se utiliza para el estudio de determinados ambientes. El método no está aún perfeccionado
potasio-40 (captura de electrones y partículas β)	argón-40	11.850 1.470	rocas más antiguas de cien mil años	rocas que no hayan sufrido metamorfismo, por disiparse el argón a altas temperaturas. Se mide en materiales que contengan potasio: arcillas, obsidiana, rocas eruptivas básicas, micas, etc.
rubidio-87 (β)	estroncio-87	5.000 (?)	rocas con una antigüedad mayor de diez millones de años	El rubidio se encuentra asociado a minerales con potasio; las mediciones se realizan en moscovita, flogopita, lepidolita, ortoclasas y anfíboles potásicos. Como minerales asociados a rocas sedimentarias, la glauconita, illita y silvinita

Cenozoico
Cretácico
Jurásico
Triásico
Pér-
mico
Carbonífero
Devónico
Silúrico
Ordovícico

Triceratops
Dapedium
Eryops
Archaeopteryx
Pleuracanthus
Bothriolepis
Drepanaspis

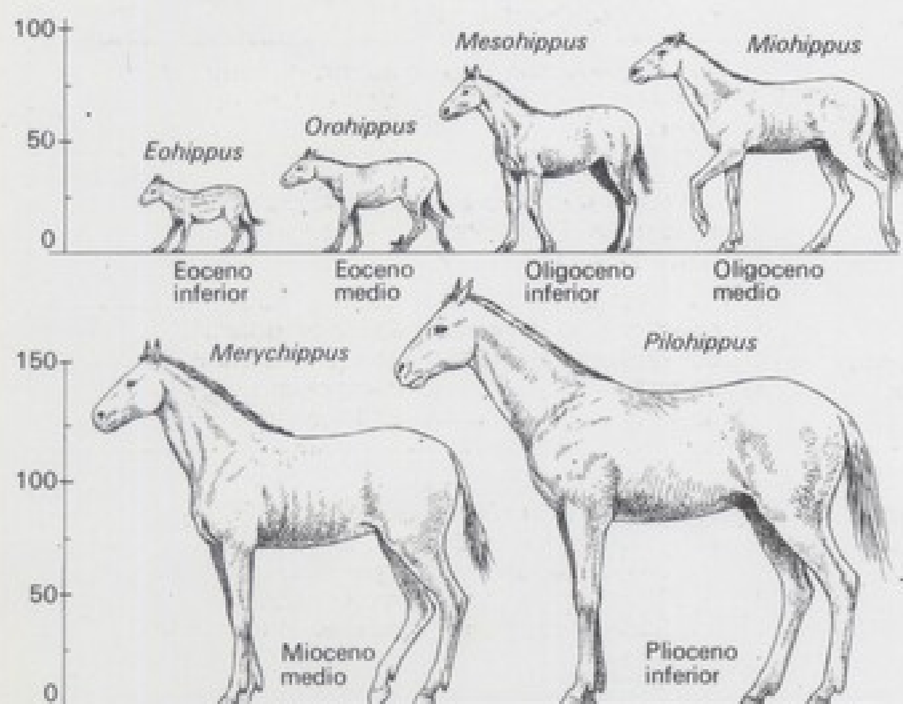
Mamíferos
Aves
Reptiles
Anfibios
Osteictios
Condrictios
Placodermos
Agnatos
Acantódidos

Esquema de la evolución de los vertebrados en el que se muestran las relaciones a nivel de clase. La historia evolutiva de los vertebrados se ha reconstruido gracias al hallazgo de restos fósiles, aunque también existen métodos indirectos, como la interpolación: por ejemplo, entre un fósil A y su forma actual C, se supone la existencia de una forma intermedia B, que generalmente se acaba encontrando. Tal es el caso de *Archaeopterix*, forma primitiva de ave, con caracteres aún reptilianos, cuya morfología se había inducido incluso antes de encontrar sus restos fósiles.

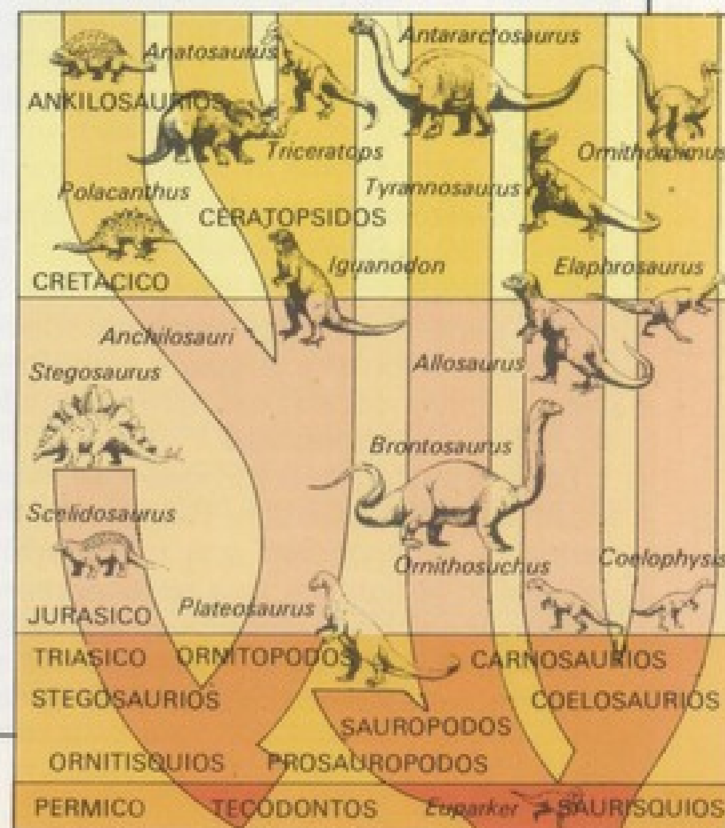
dentales. En estas expediciones se extrajeron restos de *Brontosaurus*, *Triceratops*, *Allosaurus* y *Stegosaurus*.

A principios de siglo, el Museo de Historia Natural de Nueva York financió algunas expediciones paleontológicas a Asia Central, que incluían exploraciones en el desierto de Gobi y en Mongolia. Se descubrieron restos de mamíferos de gran interés, correspondientes al período Cretácico, así como dinosaurios ceratópsidos y el primer huevo fósil de dinosaurio hallado hasta entonces. Posteriormente, expediciones rusas en la misma región descubrieron restos del *Syrmosaurus*, dinosaurio que vivió durante el Cretácico y Jurásico. La reconstrucción de los árboles filogenéticos es uno de los argumentos paleontológicos que muestran la realidad de la evolución biológica. En cualquier momento puede encontrarse un resto fósil inédito de dinosaurio, trilobites, homínido, o cualquier otra especie, que resulte ser el estado de transición entre dos formas distintas, lo que será un nuevo dato para establecer la serie filogenética.

Véase **Datación por carbono 14; Fósil y fosilización; Geología**



A la izquierda, el registro filogenético de la evolución de los équidos, donde puede compararse el tamaño del *Eohippus* ancestral, con el del *Pliohippus* del Plioceno. A la derecha, la filogenia de los dinosaurios. Aunque se ha extendido mucho la idea de su brusca desaparición, ésta debe considerarse en el marco general del proceso de extinción de los grupos biológicos: cuando se ha alcanzado una excesiva especialización, el grupo biológico es incapaz de adaptarse a un nuevo cambio ambiental. A finales del Cretácico, las fases orogénicas en Eurasia y Norteamérica transformaron regiones bajas y pantanosas en áreas desérticas y montañosas, inadecuadas para la vida de los dinosaurios.



Paleozoica, era

La era Primaria o Paleozoica (del griego *palaios*, antiguo; *zoon*, animal, y *oikos*, residencia) comenzó hace unos 570 millones de años. A lo largo de los 345 millones de años que abarcó el Paleozoico se produjeron profundas variaciones en la distribución de tierras y mares, así como fenómenos evolutivos que desarrollaron una gran diversidad biótica.

El Paleozoico inferior tuvo una duración aproximada de 175 millones de años. La mayor parte de la Tierra estaba ocupada por océanos poco profundos, y en ella tuvieron lugar importantes fenómenos orogénicos que desembocaron en la formación de montañas. Estos mares paleozoicos estuvieron poblados por una gran variedad de animales invertebrados, siendo los trilobites los más característicos. Fue en esta era cuando aparecieron los primeros vertebrados, los "peces óseos", los más antiguos de los cuales corresponden al Ordovícico de Norteamérica. En el transcurso del Paleozoico superior, que duró 170 millones de años, tuvieron lugar las primeras adaptaciones de vegetales y animales a la vida terrestre, que culminaron en el Carbonífero con la aparición de numerosas plantas de porte arbóreo y de insectos, y con un gran desarrollo de anfibios en el Pérmico.

La era Paleozoica está dividida en seis periodos geológicos: Cámbrico, Ordovícico, Silúrico (que constituyen el Paleozoico inferior), Devónico, Carbonífero y Pérmico (que se incluyen en el Paleozoico superior).

El Paleozoico inferior En el primer período del Paleozoico, el Cámbrico, todas las formas de vida eran marinas. La mayor parte de la Tierra estaba ocupada por mares poco profundos, y sólo emergían las zonas montañosas, que constituían los núcleos continentales.

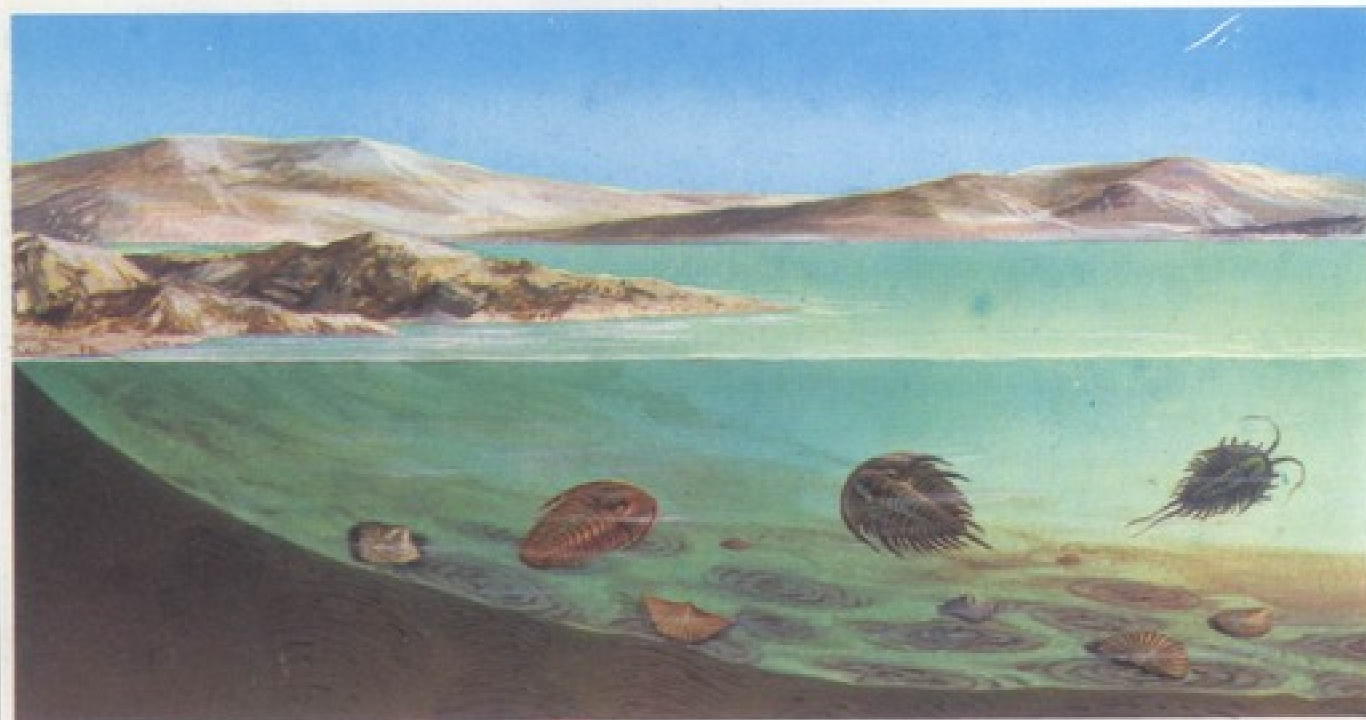
Los trilobites son los fósiles más característicos del Cámbrico. Hubo una gran variedad de especies, con considerable expansión geográfica, que se extendieron por Europa y Norteamérica. A finales del Cámbrico tuvieron lugar importantes fenómenos orogénicos, iniciándose la formación de grandes cadenas montañosas, como los Apalaches y las Montañas Escandinavas.

Los primeros vertebrados fósiles hicieron su aparición en el Ordovícico. Se trataba de Agnatos, o "peces acorazados", carentes de mandíbulas y con un esqueleto dérmico muy desarrollado, que formaba auténticas corazas en la región céfalo-torácica, formado por una o varias placas óseas. A finales del Silúrico, o quizá más exactamente durante el Devónico, tienen lugar los primeros intentos de población de los continentes, lo que implicó una serie de cambios estructurales en el aparato respiratorio de los animales para captar el oxígeno atmosférico.

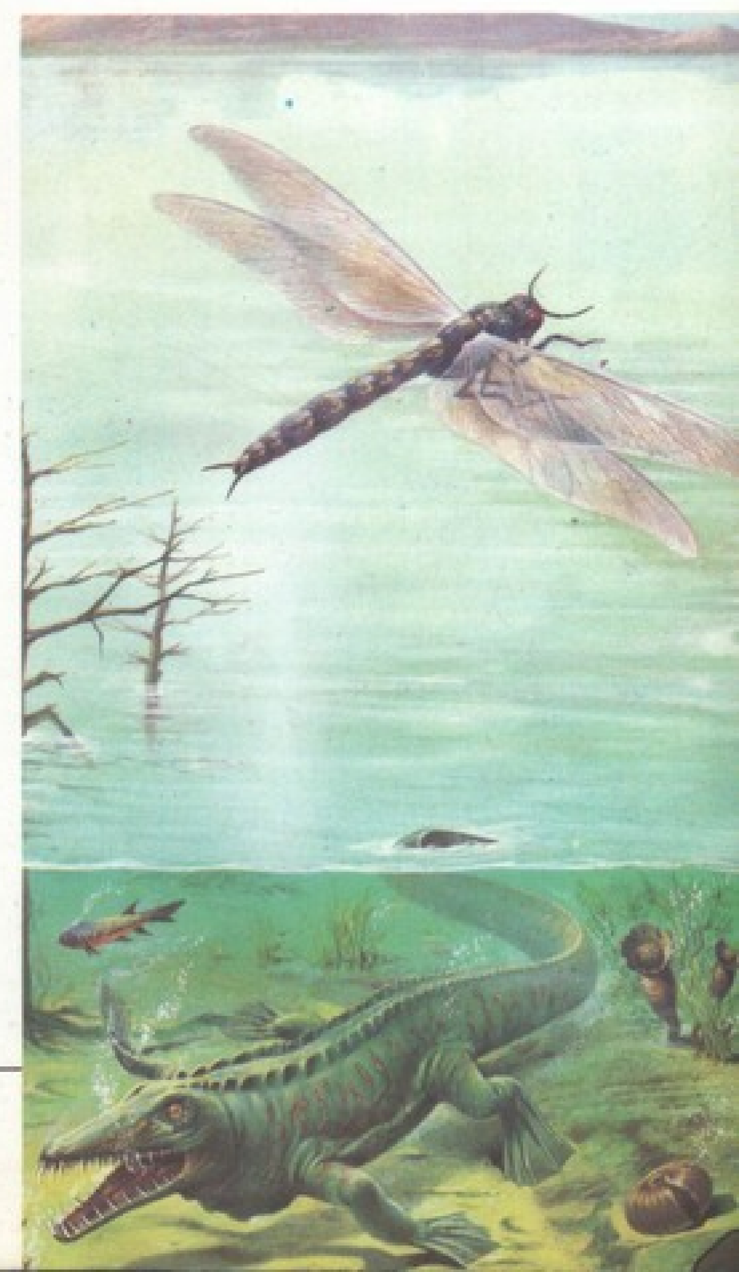
En general, se admite que en el Paleozoico persistieron tres grandes masas continentales: el continente Nor-Atlántico, que comprendía gran parte de Norteamérica, Groenlandia y Europa Central y Septentrional, el continente Austral o de Gondwana, integrado por Brasil, Africa, Arabia, Indostán y Australia, y el continente de Angara o Chino-Siberiano. Hubo una importante glaciación que cubrió gran parte del continente de Gondwana durante el Ordoviciense. A comienzos del Silúrico los glaciares comenzaron a derretirse, con la consiguiente subida del nivel del mar. El actual desierto del Sahara estaba ocupado por mares poco profundos. La abundancia de restos orgánicos que se depositaron, junto con la existencia de una serie de requisitos tectónicos y litológicos, explican la riqueza petrolífera de ciertas zonas de Africa.

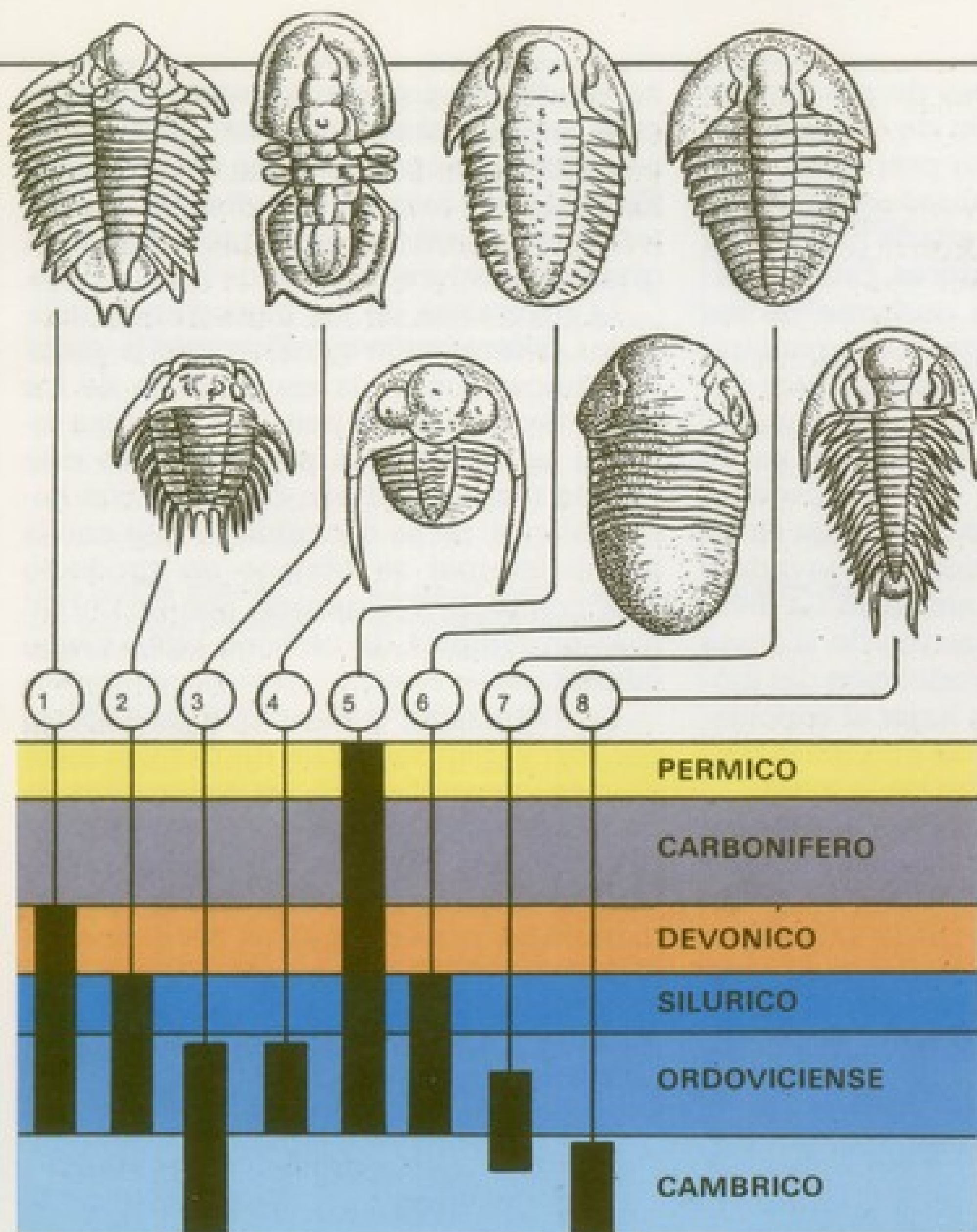
El Paleozoico superior Durante el Devónico tuvo lugar una progresiva población de los continentes. Los peces Sarcopterigios vivieron principalmente en las aguas continentales del Devónico, y podían respirar el aire atmosférico mediante sacos pulmonares. Dentro de la subclase Sarcopterigios, el Super-Orden Crosopterigios incluía los directos antecesores de los anfibios, que se desarrollaron a finales del Devónico. Los primeros anfibios, los Estegocéfalos, conservan muchos caracteres de los peces Crosopterigios, y hubo numerosas y variadas especies durante el Carbonífero y el Pérmico. A finales del Paleozoico había formas gigantescas, como es el caso del género *Eryops* del Carbonífero superior y Pérmico inferior de Norteamérica, que tenía cierto parecido con los actuales cocodrilos, y medía unos tres metros de longitud. La etapa siguiente de la evolución de los Vertebrados tuvo lugar en el Carbonífero superior, con la aparición de los primeros reptiles (Cotilosaurios). A diferencia de los anfibios, los reptiles podían desovar en tierra firme, gracias a las membranas que protegían al embrión, lo que les confería una total independencia del medio acuático. Esta ventaja les permitió colonizar gran parte de la Tierra. Al mismo tiempo, se desarrolló en los bosques carboníferos una fauna muy compleja de artrópodos terrestres, principalmente insectos, arácnidos y miriápodos. Existían numerosas especies, entre las que cabe destacar las libélulas gigantes, cuya longitud entre los extremos de las alas podía superar los 60 cm. La flora carbonífera se conoce en detalle gracias a los numerosos restos de plantas asociadas a los yacimientos de carbón.

Durante el Pérmico, último periodo del Paleozoico, se desarrollaron los reptiles, que aparecieron por vez primera en el Carbonífero superior. Un representante tí-



La figura de la izquierda representa la reconstrucción de un ambiente Cámbrico en el que se ven algunas especies típicas de dicho período. Los núcleos continentales no habían sido aún poblados por los vegetales, y eran lugares áridos y desérticos. En el mar habitaban los trilobites, que fueron los primeros artrópodos marinos. También había algunos braquiópodos. Ciertas especies de braquiópodos son importantes en estratigrafía, por caracterizar períodos geológicos, tanto en el Paleozoico como el Mesozoico. En el mar abundan las algas verde-azuladas, o cianofíceas.







En el Paleozoico tuvo lugar la gran expansión biótica, sobre todo de invertebrados marinos. Los más característicos eran los trilobites. Estos artrópodos alcanzaron su máximo desarrollo en el Paleozoico inferior. En el Carbonífero comienza a decaer el grupo, extinguiéndose a finales del Pérmico. La foto a la derecha muestra un fósil de *Jarravia oblonga*, una pteridofita del Silúrico

pico fue el Pelicosaurio *Dimetrodon*, animal carnívoro que podía alcanzar los tres metros de longitud y estaba provisto de una cresta dorsal muy pronunciada. A partir del Pérmico medio empezaron a desarrollarse los reptiles Terápsidos, en los que las tendencias evolutivas hacia el grado estructural de los mamíferos se van haciendo cada vez más marcadas. Es difícil la separación entre los Terápsidos más evolucionados y los mamíferos más primitivos.



El esquema adjunto muestra el desarrollo de la vida animal a lo largo del Paleozoico. Como puede verse en la figura, durante cada período se produce la aparición de nuevas formas faunísticas, que se van adaptando a un medio donde el mundo vegetal ya se halla plenamente desarrollado.



Vemos aquí representada la reconstrucción de un ambiente del Pérmico, último sistema del Paleozoico. Los peces primitivos, que se difundieron enormemente durante el Devónico, continuaron evolucionando a lo largo de todo el Paleozoico. En la figura se ven algunos anfibios, como los géneros *Diplovertebron* y *Protriton*. A la izquierda está representado el *Mesosaurus*, un reptil adaptado a la vida acuática en lagunas continentales. Todavía perduran algunas especies de trilobites, y son frecuentes ciertos braquiópodos, crinoideos y gasterópodos. Sobre la superficie del agua vuela una libélula gigante.

Entre los grupos faunísticos que más se diversificaron a lo largo del Paleozoico está el de los Foraminíferos (protozoos), algunos de cuyos fósiles se remontan al Cámbrico. Estos protozoos estaban provistos de un caparazón calcáreo de forma muy variada, y en ocasiones son de gran utilidad en la Paleontología estratigráfica.

Gran parte de la flora y fauna paleozoicas se extinguió en el transcurso del Pérmico. Por ejemplo, uno de los representantes más característicos de la Era Primaria, los trilobites, se extinguieron a finales de dicho periodo; lo mismo ocurrió con otros invertebrados marinos. Por el contrario, los anfibios experimentaron un gran desarrollo, adquiriendo formas gigantescas que se extinguirían a principios de la Era Secundaria. El explosivo desarrollo de los reptiles que tuvo lugar a finales del Paleozoico alcanzaría su auge en la era Mesozoica, también denominada "Era de los dinosaurios".

Véase **Cámbrico, período; Carbonífero, período; Devónico, período; Ordoviciense, período; Pérmico, período; Silúrico, período**

Pan

Se dice que no sólo de pan vive el hombre, pero, de hecho, siglos de alimentación a base de pan en todo el mundo occidental han demostrado que el pan es uno de nuestros alimentos más populares y básicos. Las principales materias primas que constituyen el pan son la harina —generalmente de trigo—, el agua potable —cuyas sales disueltas influyen en el proceso de panificación— y la levadura, microorganismos del género *Saccharomyces*. Las variaciones que posteriormente se han aportado a esta receta de base se encuentran en el comercio en forma de más de mil tipos distintos de pan, obtenidos con el empleo de diversos productos de alimentación, desde la soja a la levadura química, pasando por la leche, el aceite de oliva, el arroz, etcétera.

Ya los hombres prehistóricos comían pequeñas "galletas" hechas con semillas y granos muy parecidos al maíz, que todavía son hoy el alimento principal en muchos países de Sudamérica. Los antiguos griegos y romanos construyeron los primeros molinos; pesadas ruedas de piedra eran empujadas por esclavos y animales para reducir el grano de trigo a polvo fino. Durante la Edad Media el pan de harina gorda representó la alimentación básica de los campesinos. Actualmente, cerca de 13,5 billones de kilos de pan se consumen cada año solamente en Estados Unidos. Han aparecido, además, los llamados "productos de horno", que pertenecen a varias categorías: pueden ser de fermentación natural, fermentación al aire, fermentación química o fermentación ácida. En los últimos diez años, el gran interés de los consumidores en lo que concierne a los alimentos naturales ha llevado a reexaminar todos los ingredientes empleados en la producción del pan común. Se ha comprobado que la cáscara de los cereales es, junto con otras sustancias, esencial para una alimentación correcta. Así, el consumo de pan integral ha aumentado en los últimos tiempos, mientras que ha disminuido el de pan blanco.

Cómo se hace el pan El pan es elaborado actualmente siguiendo los principios básicos tradicionales, aunque con nuevas técnicas. Las fases de producción del pan son: preparación de la masa, esponjamiento y cocido. La preparación de la masa se realiza en amasadoras mecánicas que constan de una arteria móvil o fija y de unos brazos amasadores. Esta maquinaria efectúa la mezcla uniforme de los distintos ingredientes, con buena penetración de aire y en poco tiempo. La masa obtenida se divide en trozos del tamaño adecuado para su cocción en máquinas especialmente diseñadas.

Para el esponjamiento de la masa se introduce una cierta cantidad de levadura en la mezcla durante el amasado. La levadura provoca la fermentación de la masa y, en consecuencia, la producción del dióxido de carbono que da lugar al esponjamiento, por la formación de pequeñas burbujas gaseosas en el seno de la masa.

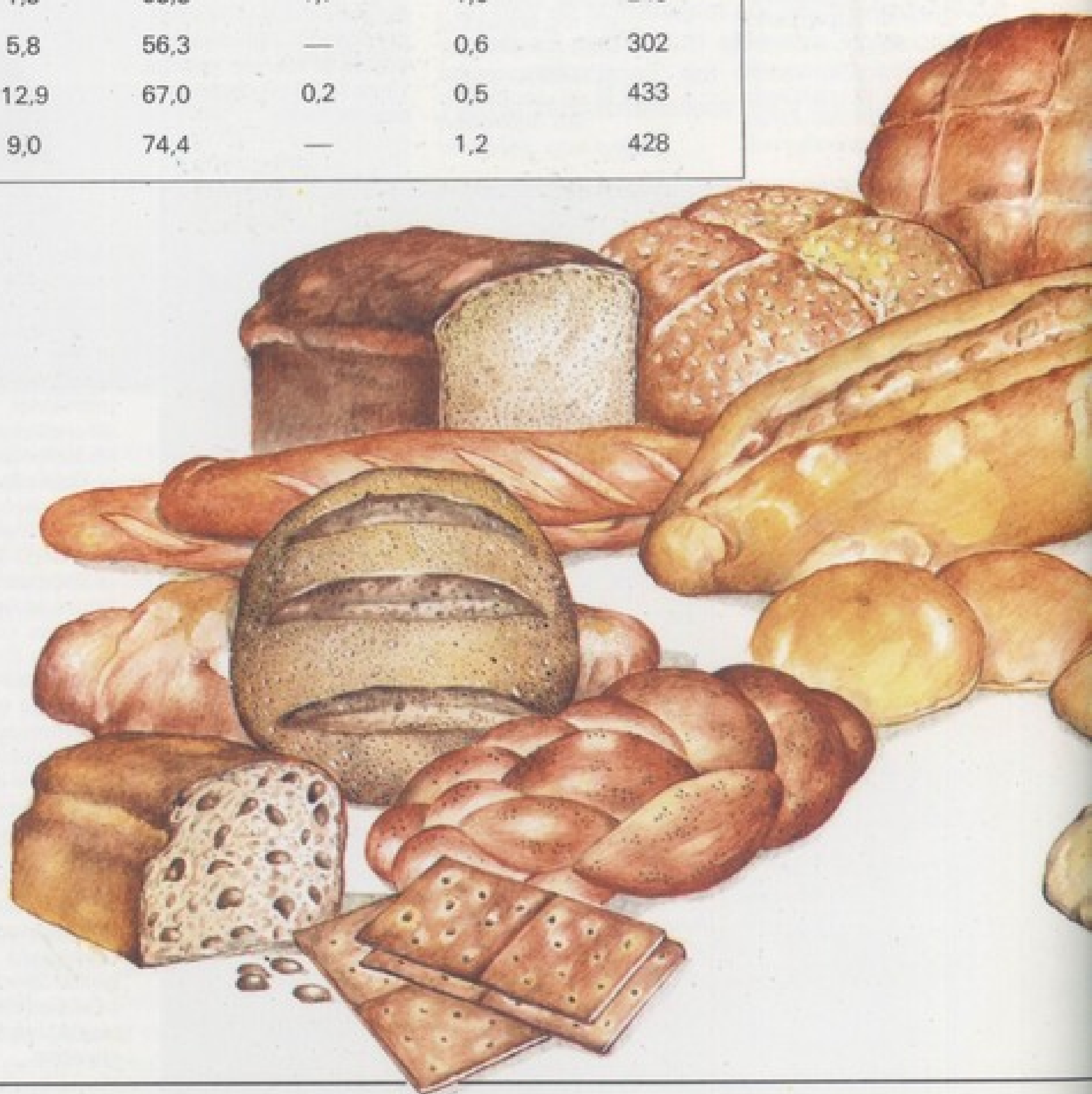
Finalmente, la masa esponjada y dividida se convierte en pan mediante el empleo de calor constante y húmedo, que se obtiene en hornos especiales. Durante la cocción la capa superficial del pan se endurece por la pérdida de agua y por la transformación de los hidratos de carbono en dextrina, que sufre una carbonización parcial (caramelización) confiriendo a la corteza del pan el típico color dorado. El interior de la masa no sufre grandes alteraciones y retiene gran parte del agua gracias al endurecimiento de la superficie.

La naturaleza de los ingredientes utilizados determina la estructura de la pasta. Los dulces son en la mayor parte de los casos derivados del pan. Con la harina integral se obtiene un pan de grano más grueso respecto al pan obtenido con harina blanca. Se ha descubierto que con la harina integral se obtiene un producto más completo y digerible, con un contenido en hidratos de carbono ligeramente inferior.

Es interesante señalar que las recetas del pan varían según los climas y la localización geográfica. En las zonas altas, la masa necesita más líquido para su formación, ya que la harina tiende a secarse cuando el aire está más rarificado; la fermentación, por su parte, se produce más rápidamente. Los manuales de panificación prevén por ello los ajustes a realizar en la composición de los ingredientes

COMPOSICION QUIMICA Y VALOR NUTRITIVO DEL PAN Y DERIVADOS (en 100 gr de producto)

Productos	Agua o humedad %	Proteínas %	Lípidos %	Glúcidos %	Celulosa %	Cenizas %	Valor energético kcal/100 g
Pan de tipo O (peso 100 g)	26,6	8,1	0,5	64,0	0,1	0,7	276
Pan de tipo OO (peso 50 g)	23,4	8,2	0,4	67,5	—	0,5	290
Pan de tipo 1 (peso 500 g)	29,2	8,9	0,6	60,3	0,2	0,8	267
Pan integral	33,0	8,6	1,3	53,8	1,7	1,6	243
Pan de aceite	29,6	7,7	5,8	56,3	—	0,6	302
Colines	8,1	11,3	12,9	67,0	0,2	0,5	433
Galletas saladas	6,0	9,4	9,0	74,4	—	1,2	428



para equilibrar los efectos debidos a las diferencias climáticas. En los últimos años se ha podido asistir a un notable aumento del consumo de los distintos tipos de pan, sobre todo de los especiales.

Véase **Alimentos; Fermentación; Levadura**

En la página anterior, una tabla que presenta valores nutritivos y composición química de diversos tipos de pan y derivados. Adviértase la fuerte variación de algunas características de un tipo a otro. Abajo, algunos productos de panificación. Mientras que algunos son variantes lejanas del pan clásico hay otras formas ligadas a tradiciones regionales o nacionales que muestran cómo tras este alimento existe una historia de siglos. Abajo, elaboración de colines en horno automático de cinta con aire caliente. Abajo, a la derecha, fases principales de la elaboración del pan: formación de la pasta, fermentación, troceado, moldeado de las formas y cocción. En la tabla, a la derecha de estas líneas, lo que ocurre durante la elaboración del pan.

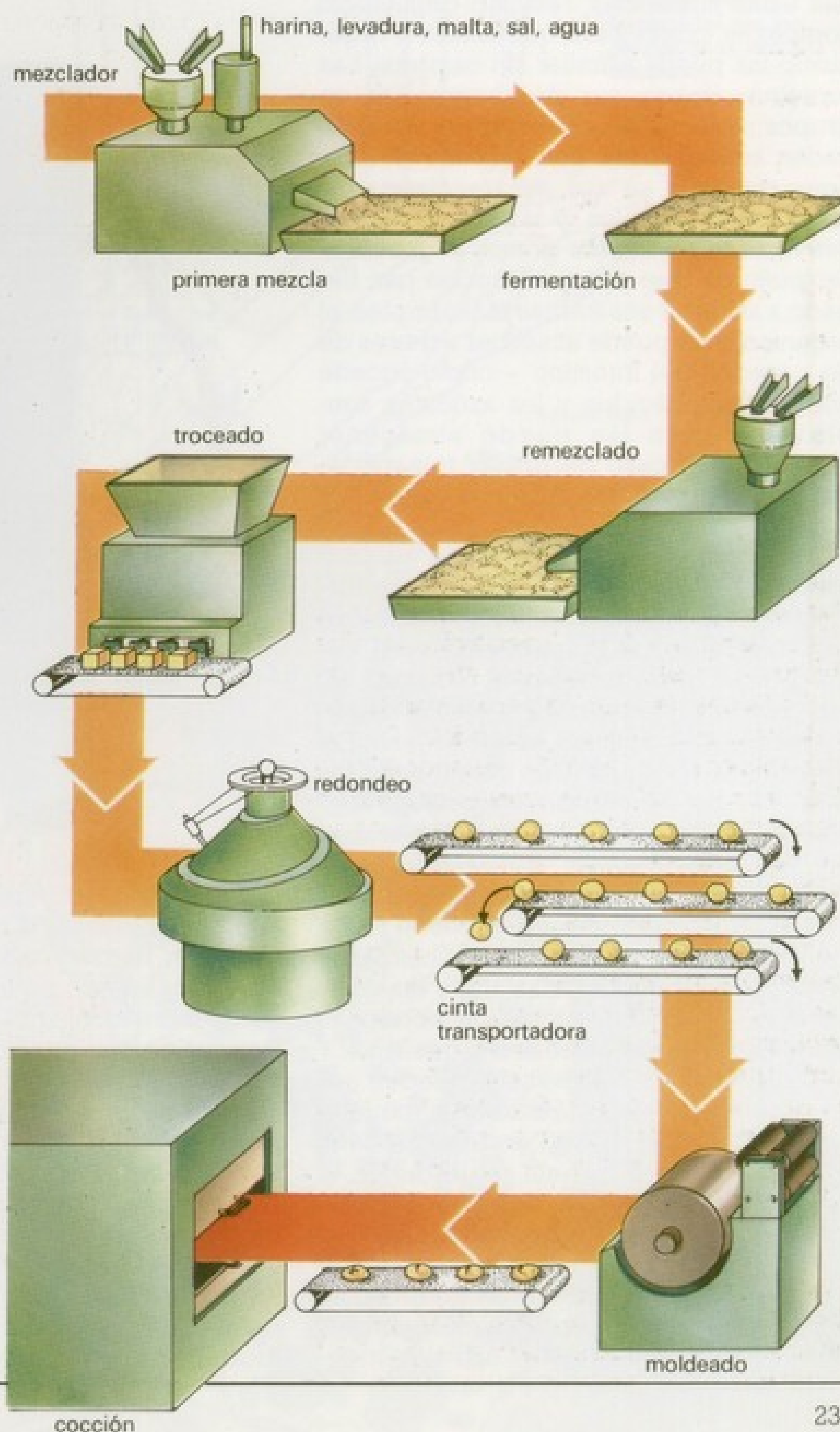
PREPARACION DEL PAN

Elementos considerados	Fase 1	Fase 2	Fase 3
función	mezcla de la masa	transformación estructural de la masa por medio de la fermentación	gelatinización de los almidones y formación de la corteza
método de medida	harinógrafo	extensógrafo	amilógrafo
tipo de diagrama	farinograma	extensograma	amilograma
datos obtenidos y características de la harina	absorción de agua, tiempo de amasado, tolerancia de la masa, fuerza de la harina		
correcciones posibles	cambio de los granos utilizados	extensibilidad y capacidad de la masa	adición de malta



Poli Forni-Verona Moraglio-Turin





Páncreas

La principal función del páncreas consiste en la producción de jugos especiales que descomponen los fragmentos de alimento en sustancias más simples. Se trata de una glándula de secreción externa cuya sustancia segregada es utilizada en el intestino durante la última fase de la digestión. Las glándulas en general se dividen en dos grandes grupos: las *endocrinas*, así denominadas porque su secreción penetra directamente en el torrente sanguíneo y es posteriormente difundida por todo el organismo; y las *exocrinas*, cuyas secreciones se realizan a través de unos canales especiales, o conductos, hacia otros órganos. El conducto que parte del páncreas llega a la parte más alta del intestino delgado, el duodeno. Aquí los jugos pancreáticos, claros, incoloros y densos, parecidos a la saliva, interaccionan con el alimento que acaba de sufrir los efectos de los ácidos digestivos del estómago, y el proceso de descomposición parcial del alimento continúa.

En el alimento que ingerimos están contenidas tres sustancias fundamentales; las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas. En la forma en la que son ingeridas estas sustancias, resultan demasiado complejas como para que nuestro organismo las pueda asimilar sin cambios. Las proteínas deben ser descompuestas en grupos moleculares más simples, denominados aminoácidos. Los hidratos de carbono deben, a su vez, ser transformados en azúcares simples, y las grasas deben convertirse en ácidos grasos y glicerina. Después de que estas sustancias han llegado a adquirir sus formas más simples, el organismo las puede absorber a través de las paredes del intestino —como sucede con los aminoácidos y los azúcares simples— o bien las puede almacenar —como es el caso de grasas transportadas en los conductos linfáticos.

Otras glándulas presentes en el páncreas En el año 1869, un científico alemán llamado Paul Langerhans observó que todo el tejido blanquecino y en forma de tubo que constituye el páncreas estaba poblado por pequeños grupos de células similares a islotes en un océano. Estos grupos celulares eran distintos de las otras células pancreáticas y por ello fueron bautizados, en honor de su descubridor, con el nombre de *islotes de Langerhans*. Más adelante, los científicos descubrieron que en el interior de cada islote se podían distinguir varios tipos celulares, principalmente las células alfa y las células beta, ambas secretoras de hormonas fundamentales para nuestro organismo.

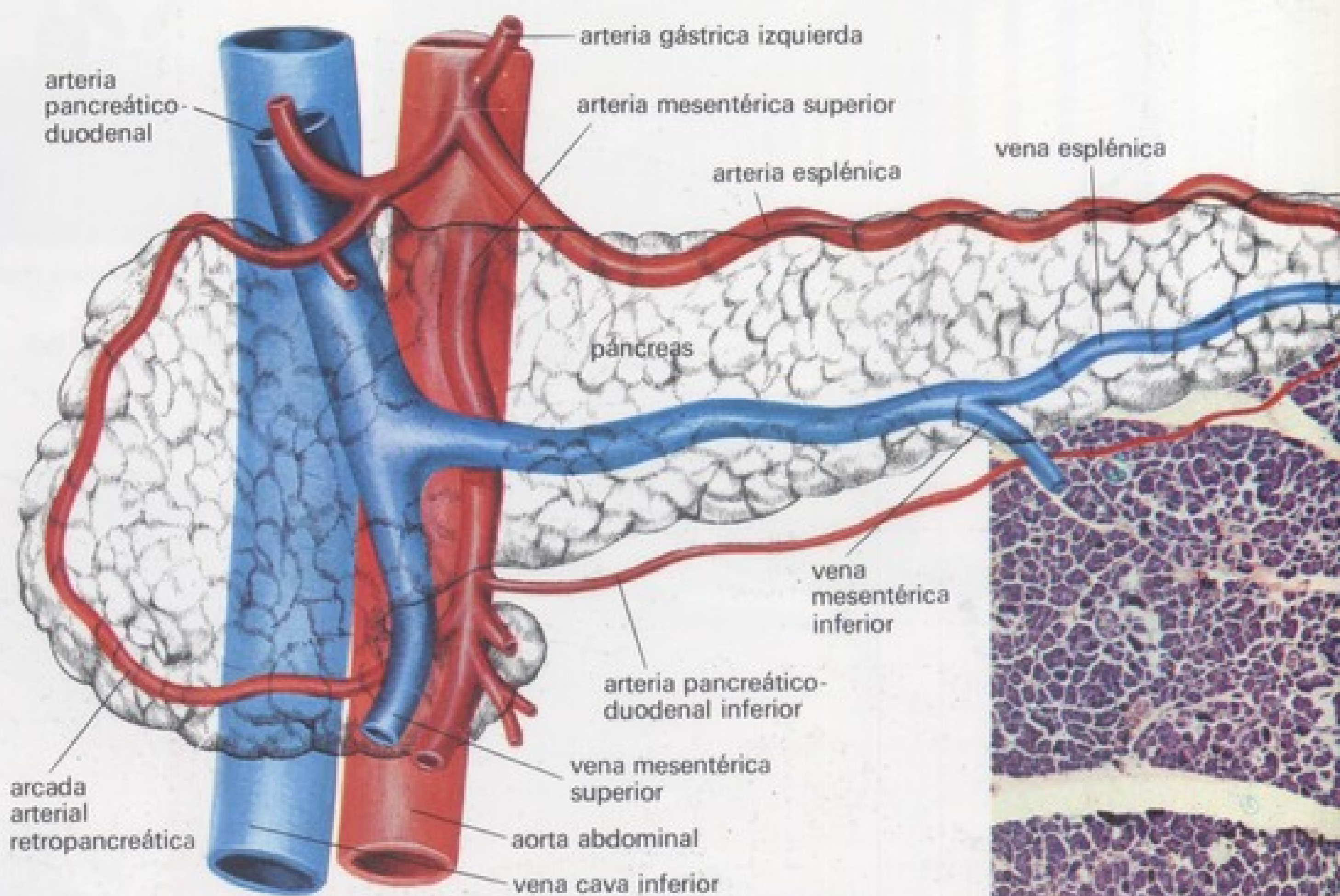
Los islotes de Langerhans pueden ser considerados como glándulas en miniatura y pertenecen al tipo endocrino, dado que las hormonas que allí se producen, la insulina y el glucagón, penetran directamente en el sistema sanguíneo.

Cuando estas células funcionan normalmente su misión consiste en controlar la cantidad de azúcar presente en la sangre. Una vez que los alimentos han sido ingeridos y después de que los azúcares y aminoácidos han entrado en el torrente sanguíneo, la concentración de glucosa en la sangre se eleva. La célula beta del páncreas segrega una hormona llamada insulina que facilita la penetración y almacenamiento de la glucosa en el interior de las células. La glucosa posteriormente podrá ser utilizada para la producción de energía celular o bien almacenada en forma de un polisacárido celular o de un polisacárido llamado glucógeno. Durante un período de ayuno algo prolongado la concentración sanguínea de glucosa desciende, entonces las células alfa presentes en el páncreas segregan glucagón, hormona que actúa sobre las células que almacenan el glucógeno. Esta hormona facilita la transformación del glucógeno almacenado que por hidrólisis se transforma rápidamente en glucosa. El exacto mecanismo de acción de estas dos hormonas no ha sido todavía perfectamente aclarado.

Las posibles enfermedades del páncreas Los trastornos que pueden afectar al páncreas son principalmente dos: uno que afecta principalmente a los procesos digestivos y otro que daña fundamentalmente la producción de insulina. En el primer caso se habla de fibrosis quística del páncreas; en este trastorno los jugos pancreáticos son tan densos que no logran llegar al duodeno e incluso producen bloqueos en los conductos pancreáticos. El alimento, sin la importante ayuda de los jugos gástricos, avanza por el duodeno sin haber sido suficientemente digerido y por tanto el organismo no es capaz de absorberlo y no recibe nutrición adecuada. Las personas afectadas por esta enfermedad, fundamentalmente los niños, pueden llegar a morir por malnutrición. Afortunadamente existen medicamentos capaces de ayudar a los jugos pancreáticos a alcanzar la fluidez adecuada y a llegar al duodeno para desempeñar su función digestiva.

Si los islotes de Langerhans no producen suficiente cantidad de insulina, el organismo se ve afectado por una grave enfermedad denominada *diabetes mellitus*. El azúcar presente en la sangre no es adecuadamente utilizada por las células y acaba por perderse a través de la orina. En consecuencia, se incrementa notablemente la cantidad de orina producida, y esta pérdida de líquidos puede llegar a ser tan grave que provoque un colapso total de la circulación e incluso la muerte. Gracias a las investigaciones llevadas a cabo en los años veinte, los diabéticos pueden hoy en día inyectarse ellos mismos la insulina de manera que el azúcar presente en la sangre pueda ser adecuadamente absorbido por las células, descendiendo de este modo la cantidad presente en la sangre y evitando así la pérdida de líquidos.

La dificultad principal para los diabéticos consiste en mantener una cantidad de azúcar suficiente en su organismo a fin de evitar grandes oscilaciones de la misma tanto en un sentido como en otro. Si un diabético se olvida de comer o si se somete a esfuerzos que no corresponden a la can-

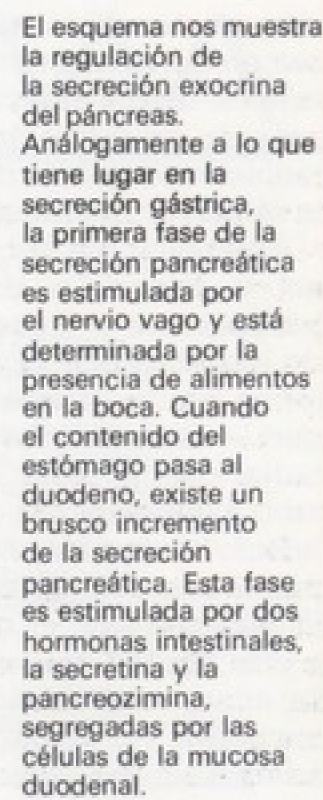


Arriba, vascularización arterial y venosa del páncreas. A la derecha, imagen microscópica del tejido pancreático; está subdividido en lóbulos y lobulillos por medio de septos conjuntivos. En el dibujo tridimensional, los islotes de Langerhans, la estructura endocrina del páncreas.

tidad de azúcar disponible en su organismo, la insulina inyectada producirá una desaparición casi total del azúcar en la sangre y el diabético podría llegar a un estado de coma. Regular adecuadamente la cantidad de insulina constituye el más difícil cometido en el tratamiento de los diabéticos. Los investigadores esperan que llegue el día en que se podrán trasplantar los islotes del páncreas productores de insulina a los diabéticos, de forma que la glándula desempeñe su cometido por sí sola.

Véase **Digestión; Digestivo, aparato; Endocrino, sistema; Enzimas; Glándula**

REGULACION DE LA SECRECION PANCREATICA EXOCRINA


El esquema nos muestra la regulación de la secreción exocrina del páncreas. Análogamente a lo que tiene lugar en la secreción gástrica, la primera fase de la secreción pancreática es estimulada por el nervio vago y está determinada por la presencia de alimentos en la boca. Cuando el contenido del estómago pasa al duodeno, existe un brusco incremento de la secreción pancreática. Esta fase es estimulada por dos hormonas intestinales, la secretina y la pancreozimina, segregadas por las células de la mucosa duodenal.

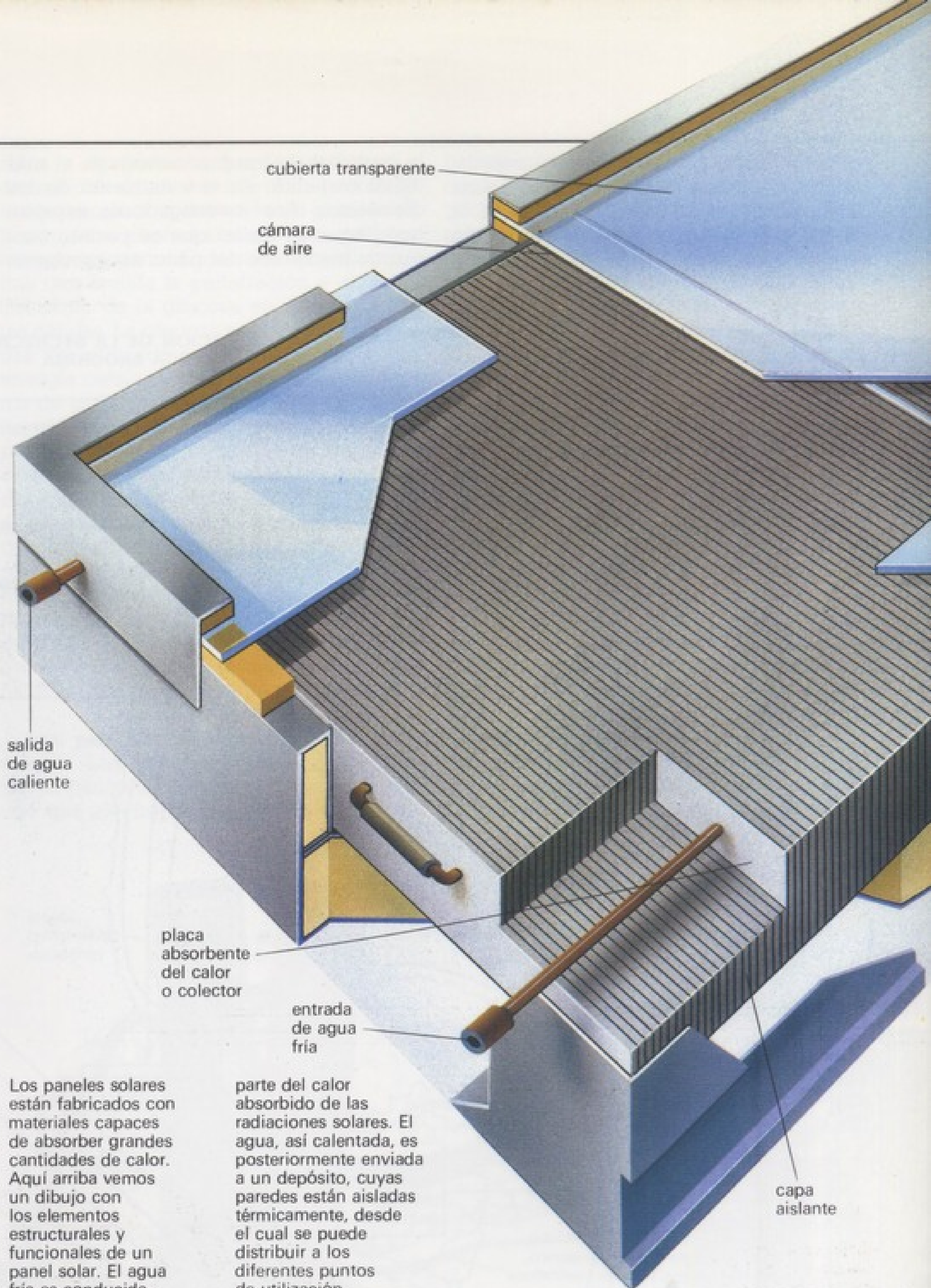
Panel solar

Aunque a la Tierra llegue solamente una mínima parte (una milésima de millonésima) de la energía solar, si pudiéramos utilizarla en su totalidad sería más que suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de toda la Humanidad.

El empleo de las radiaciones solares para calefacción, refrigeración y producción de energía —tanto para uso industrial como doméstico— requiere su conversión previa en calor, para lo cual se utilizan paneles solares que se instalan en los tejados de los edificios o en lugares despejados, de forma que puedan recibir las radiaciones solares directamente y durante el mayor tiempo posible.

Los rayos del sol inciden sobre el panel y atraviesan su superficie, que es transparente a dicha radiación, calentando los tubos que hay en su interior. El calor no puede ahora escapar del panel porque la superficie no es transparente a la radiación de onda larga emitida por el tubo caliente. Este efecto, denominado "efecto invernadero", permite, pues, atrapar el calor, e impide que vuelva a salir. El calor del tubo es cedido al agua, o bien a otro líquido, que circula en su interior. La energía térmica obtenida de esta forma puede ser utilizada para diversas finalidades, como son el calentamiento de agua para uso doméstico, la alimentación de los generadores de vapor de las turbinas eléctricas, etcétera.

Los dos tipos fundamentales de paneles recolectores solares son los paneles planos y las células solares. Los primeros se utilizan sobre todo en las instalaciones domésticas, mientras que las células solares son más adecuadas para aplicaciones industriales.



Los paneles solares están fabricados con materiales capaces de absorber grandes cantidades de calor. Aquí arriba vemos un dibujo con los elementos estructurales y funcionales de un panel solar. El agua fría es conducida, a través de un sistema de tuberías, hasta el panel solar donde la cubierta protectora transparente le cede parte del calor absorbido de las radiaciones solares. El agua, así calentada, es posteriormente enviada a un depósito, cuyas paredes están aisladas térmicamente, desde el cual se puede distribuir a los diferentes puntos de utilización. Con este sistema es posible obtener agua caliente para calefacción y otros usos dométicos.

Paneles solares planos Los paneles solares planos son unos contenedores de forma plana, de color negro, con una tapa transparente y un haz de tubos paralelos colocados en su interior. En las instalaciones para agua caliente, cuando el panel se expone a la acción de los rayos solares, estos atraviesan la tapa transparente y su fondo negro —construido en metal, goma o bien plástico— se calienta, así como el agua que circula por los tubos. El agua caliente puede ser recogida en un depósito y enviada a presión a otro depósito general colocado en el interior del edificio.

Como la mayoría de los dispositivos de energía solar, esta instalación está prevista para poder funcionar integrada a una instalación de calefacción convencional, de gas o de gasóleo, que sólo entra en funcionamiento cuando el nivel de los rayos solares o bien la temperatura atmosférica son tan bajos que no permiten el funcionamiento del panel solar.

Células solares Las células solares están formadas por una superficie cóncava o semiesférica de material reflectante. Gracias a esta configuración, todos los rayos que inciden directamente sobre la célula son concentrados en un punto (el foco) de la superficie por donde pasa un único tubo. El fluido termoabsorbente que circula por el interior del tubo es calentado a alta temperatura por la energía solar que ha sido concentrada sobre él. Estos colectores solares están proyectados de tal forma que pueden ser orientados para poder seguir la trayectoria aparente del Sol, de manera que los rayos incidan siempre perpendicularmente sobre ellos.

En las células solares el fluido que corre por el interior del tubo es calentado hasta temperaturas mucho más altas (alrededor de 290 °C) que los alcanzados en los paneles planos y por lo tanto son más aptas para ser utilizadas en la producción de vapor y energía eléctrica, donde es necesaria energía de mayor intensidad.

Torres solares Las torres solares son centrales energéticas donde se procede a la captación y posterior transformación, en calor o electricidad, de la energía radiante procedente del Sol. Por lo general, son edificios sencillos, altos y con gruesos muros de hormigón, que suelen ubicarse en terrenos despejados y altamente expuestos a la luz solar. Frente a cada torre, y según muy variadas disposiciones, se colocan una serie de colectores orientados de forma que concentran los rayos solares sobre una abertura u horno situada en la parte más alta del edificio. Los paneles se orientan automáticamente siguiendo el recorrido del Sol. La temperatura en el horno alcanza valores muy elevados y se utiliza para producir vapor a alta presión, que sirve para alimentar las turbinas de una central de energía eléctrica.

Véase **Energía solar**

superficie
selectiva
(de diente gótico)

superficie
selectiva
(de diente triangular)

El colector es el elemento del panel solar que absorbe las radiaciones del Sol. Generalmente es de metal (cobre, acero inoxidable o aluminio), aunque se está experimentando el empleo de otros materiales, como el poliéster, el cloruro de polivinilo, el polietileno o la goma. La superficie absorbente debe ser de color negro. La eficacia de un panel, es decir, la relación entre la energía realmente utilizada y la que sobre él incide (rendimiento), puede ser incrementada adoptando superficies selectivas que aumentan el poder absorbente de los colectores.

superficie
selectiva en forma
de "nido de abeja"

bastidor

Abajo, un edificio cuyas fachadas han sido recubiertas con un sistema de paneles solares que le autoabastecen de energía para su consumo interno.

Papel, fabricación de

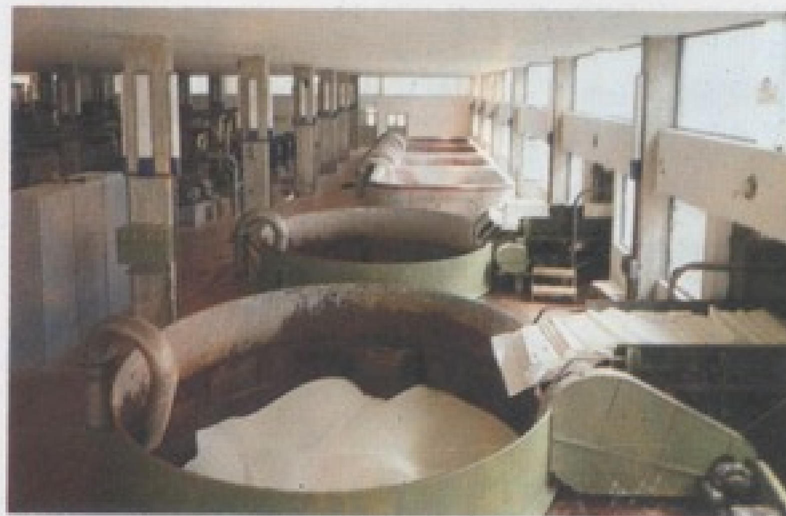
Se dice que las antiquísimas tribus nómadas chinas recogían el pelo de los animales, lo depositaban en charcos poco profundos y posteriormente lo pisaban hasta reducirlo a una masa de pelos enredados. Esta pasta, una vez seca, la utilizaban para construir sus casas. En el año 105 d. de C. un funcionario imperial, Tsai-Lun, se inspiró en el ejemplo dado por los antiguos nómadas de su país, pero en vez de usar pelo de animales, mezcló trapos, cortezas de morera, cáñamo y hierba, prensando después la pasta obtenida sobre un cedazo. Dicho proceso constituyó la invención del papel. Este nuevo material que llamamos papel, aunque es completamente distinto al papiro del que proviene la palabra, desplazó en seguida al bambú y a la madera, que se habían usado en China hasta entonces. El arte de fabricar papel se difundió rápidamente hasta los confines del imperio chino y, aunque los chinos se esforzaban por mantener el secreto, no pudieron evitar que el proceso de su manufactura llegara a ser conocido por los árabes. El papel se hizo así muy popular, pasando a Europa en el siglo XIII y desplazando paulatinamente al pergamino. A partir del siglo XV y durante los siglos siguientes, la producción de papel experimentó un gran incremento, a la vez que mejoraban las técnicas de fabricación. Estos progresos estuvieron determinados principalmente por la invención de la imprenta (1454), el desarrollo de la mecánica aplicada y la incidencia de la Revolución Industrial a fines del siglo XVIII. La invención de la máquina de fabricación de papel continuo y la introducción de las fibras celulósicas a partir de los troncos de los árboles prefiguran la moderna industria del papel.

La producción del papel hoy Los principios básicos de la fabricación del papel se han mantenido inalterados. En la actualidad, gran parte del papel se obtiene a partir de la pulpa de la madera. La transformación de la pulpa de madera en papel se desarrolla siguiendo varias fases. En primer lugar la celulosa ha de ser separada de los restantes componentes de la madera; generalmente esta operación se lleva a cabo haciendo cocer la madera, una vez reducida a virutas, en una solución de hidróxido de sodio y sulfato de sodio (*kraft*). Este tratamiento disuelve las sustancias desechables contenidas en la madera y permite obtener celulosa extremadamente resistente, en estado fibroso. Dadas las elevadas características mecánicas de las fibras de celulosa, dicho proceso permite producir papel pesado, como el que se utiliza para la elaboración de cartón.

La elaboración presenta el inconveniente de que una notable cantidad de pasta se pierde durante la cocción. Para evitar esta pérdida, se están experimentando técnicas de producción de papel en las que los trozos de madera se maceran en caliente durante breve tiempo en una solución química y posteriormente se transforman en pasta por métodos mecánicos. La madera también se puede transformar en pasta utilizando únicamente sistemas mecánicos. Una vez cortada en trozos de 60 a 120 cm de longitud, se com-



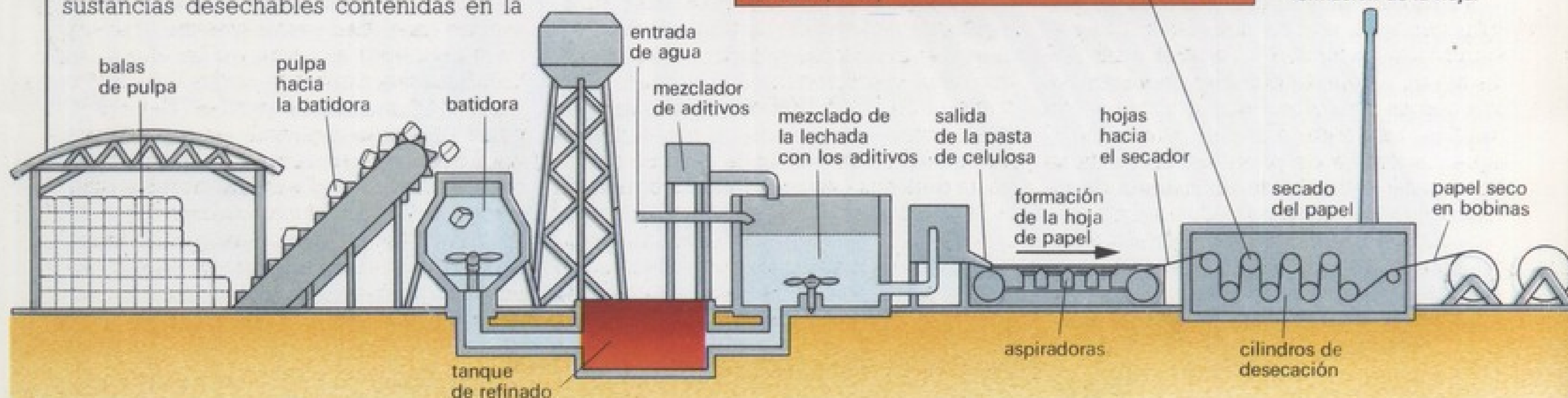
A la derecha, la "tela" de bronce sobre la que se extenderá la pasta que formará la hoja de papel. La gran línea de producción está formada por una cinta transportadora, hecha de rejilla de bronce, que se mueve apoyada sobre unas cajas de succión, perforadas en su cara superior, que absorben el agua contenida en la pasta de papel. La rejilla se alimenta mediante un surtidor situado a su izquierda; a medida que la pasta avanza sobre la rejilla, se va eliminando el agua hasta que se separa la tira de papel.



A la izquierda, la sala de preparación de la pasta de papel. La mezcla de celulosa de distinto grado de refinado determina las propiedades del papel: resistencia, blancura, flexibilidad, impermeabilidad, etc. Debajo, un secador formado por un cilindro o conjunto de cilindros calentados desde el interior sobre los que se hace pasar el papel para secarlo completamente.

El esquema de abajo ilustra las principales operaciones para la obtención de papel a partir de la celulosa bruta. Aunque sea necesario introducir variantes según la calidad del papel que se quiere obtener, la secuencia de operaciones es la misma. Los puntos clave son el amasado, el refinado y la formación de la hoja.

cilindro secador (corte)



PAPEL: PROCEDENCIA Y APLICACIONES			
Madera	**Preparación celulosa**	**Aditivos**	**Aplicaciones**
abeto	al sulfato	colas	embalaje-tetrapak
chopo	al sulfato	impermeabilizadores	escritura-dibujo
pino	a la sosa	cargas minerales para blanquear	imprenta blanco y negro
abedul	mecánica	cargas minerales para dar peso	imprenta color
eucalipto	semiquímica	pulimentadores	embalaje de alimentos
plantas varias	reciclado	colorantes	mantelerías
paja	algodón-lino-cáñamo (trapos)	aislantes	papel higiénico
			papel moneda

prime con gran cantidad de agua contra una muela giratoria, cuyo eje es paralelo al eje longitudinal de la madera, es decir, a la dirección de las fibras. Con dicho método se obtienen porcentajes de pasta de hasta el 90%.

Posteriormente, se somete la pasta al proceso de blanqueado con un compuesto de cloro, obteniéndose una lechada que después se refina y se bate mecánicamente. Este tratamiento hincha las fibras, las hace más plegables y las une más firmemente. Las fibras batidas ligeramente son porosas y esponjosas, y se emplean generalmente para producir papel de baja calidad, como es el papel utilizado en la prensa diaria. Las fibras batidas enérgicamente son más resistentes y se usan para producir papeles de calidad superior. En este punto de la elaboración se pueden introducir aditivos, llamados *cargas,* como pueden ser arcillas, carbonato o sulfato de calcio, para así aumentar la opacidad del papel. También se pueden añadir encolados, es decir resinas, y colorantes para dar al papel resistencia a la humedad y coloración.

Posteriormente se procede a la extracción del agua y al secado de la lechada, compuesta en un 99,9 % de agua y un 0,1 % de fibras. Mediante bombas de vacío, corrientes de aire y prensando la masa con rodillos, se logra eliminar casi toda el agua. La lámina de papel así obtenida se hace pasar a través de un sistema de cilindros de desecación, de donde sale lista para ser usada. Las hojas así obtenidas se clasifican según el tamaño deseado y, si es necesario, después se satinan o se enceran para obtener de esta manera un acabado liso.

La aplicación particular más importante del papel se encuentra en el sector de los contenedores usados para el transporte de mercancías; sólo una pequeña parte de la producción se dedica a satisfacer la demanda de papel de escribir. Las bolsas y los embalajes representan otros campos de aplicación muy importantes.

La calidad del papel Muchos expertos coinciden en opinar que la actual demanda de papel ha experimentado un gran incremento, ya que se han puesto a punto técnicas de elaboración muy sofisticadas para hacerlo más versátil. De todas formas, se ha comprobado que el papel producido a partir del siglo XVIII no dura tanto como el elaborado hasta entonces (hasta aproximadamente el año 1800, el papel se obtenía casi exclusivamente a partir de trapos). La celulosa presenta un gran contenido en ácidos que termina por debilitar las características enlazantes, que son las responsables de la resistencia del papel. La exposición a la humedad acelera la descomposición, ya que al reaccionar el ácido y el agua se rompen las fuerzas enlazantes y por lo tanto el papel resultante es frágil y fácil de romperse.

Las soluciones a este problema incluyen el tratamiento de las páginas de los libros con productos químicos, que provocan una disminución de la acidez, así como la no utilización de papeles derivados de madera troceada, ya que el proceso de reducción mecánica de la madera a pasta deja una gran cantidad de lignina en la lechada. La lignina al contacto con el aire se oxida, provocando alteraciones en las características ópticas de reflexión del papel que lo hacen cambiar de color. La oxidación también origina la formación de ácidos que debilitan aún más el papel. De todas formas, se están experimentando otras materias primas para obtener papel (como son las fibras de vidrio y minerales, así como los polímeros), que podrían revolucionar este campo, ya que, por primera vez, las fibras podrían unirse utilizando agentes enlazantes químicos en sustitución del agua.

En las fibras de celulosa las moléculas están dispuestas según el sentido longitudinal de la fibra vegetal, presentándose ésta como un filamento compacto cuya sección es distinta según sea la especie de la planta de la que proviene. Si se mojasen las fibras y se dejasen secar en contacto con una hoja muy fina, no se obtendría papel, sino una especie de fieltro. Para obtener papel es necesario que las fibras se unan más estrechamente. Esto se obtiene gracias al batido o refinado en el que las fibrillas que forman las capas más externas de la madera se desprenden parcialmente y se desenmarañan, aunque sin llegar a separarse. En el producto final, el papel, las fibrillas semidesprendidas facilitan y aumentan la cohesión entre las fibras adyacentes. Este tipo de unión es la que confiere resistencia al papel. Si bien el proceso de batido es necesario para aumentar la resistencia del papel, también es verdad que, desgraciadamente, muchas veces provoca la rotura de las fibras haciéndolas por tanto más cortas. Este hecho tiene el efecto contrario, o sea, debilita el papel. El batido o refinado es, por lo tanto, un proceso que es necesario llevar a cabo con prudencia y siguiendo normas diferentes según sea el tipo de papel que se desea producir. Por esta razón, si las fibras de partida son largas, como las que se obtienen a partir de trapos, el resultado será mejor.

Véase **Madera; Pergamino**

Paperas

Es muy probable que nosotros mismos o alguien de nuestro círculo familiar próximo haya padecido alguna vez una *parotiditis* o, como vulgarmente se conoce, unas *paperas*. La parotiditis es una enfermedad que en la actualidad puede ser prevenida y tratada. Es contagiosa y con frecuencia epidémica. Por lo general afecta a los niños de una edad inferior a los 15 años. Está causada por un virus y sus síntomas más importantes son la hinchazón de las parótidas (unas glándulas salivales que se encuentran cerca de las orejas), de algunas otras glándulas y fiebre.

Síntomas Los primeros síntomas, aunque no siempre se manifiestan necesariamente, suelen ser fiebre y vómitos, junto con la inflamación de las glándulas parótidas. Por lo general, la hinchazón se manifiesta primeramente en un lado y algo más tarde se extiende al otro. A veces sólo una de las glándulas resulta afectada por la hinchazón.

Antes de que estos síntomas aparezcan, suele tener lugar un período de incubación de 2 ó 3 semanas a partir del momento del contagio; durante ese período, el virus se multiplica en el organismo y éste, a su vez, va generando sus defensas contra el germen infeccioso. La inflamación es una prueba de que el sistema inmunitario está actuando. El sistema de inmunización consta de un conjunto de mecanismos de defensa del organismo contra los cuerpos extraños perjudiciales y agentes infecciosos que puedan amenazarlo. Tras una semana, desde el comienzo de la inflamación, desaparece el peligro de infección; la curación es completa y la inmunidad permanente.

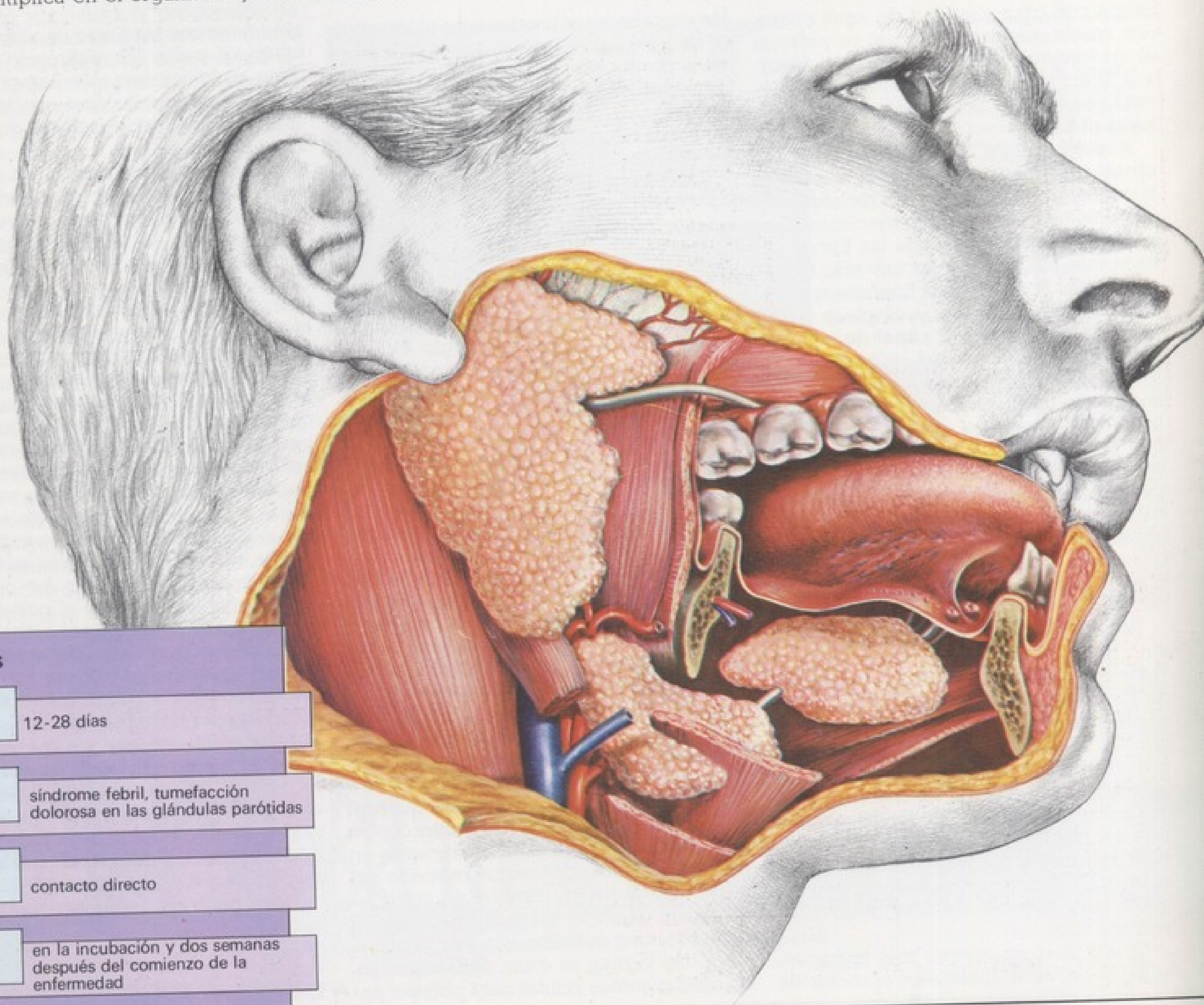
Posibles complicaciones El único peligro grave de la parotiditis consiste en la difusión del virus a otras glándulas del organismo, sobre todo en personas que ya han pasado la pubertad y en las cuales el virus puede afectar a los testículos, las glándulas mamarias y los ovarios. Esta afectación puede conducir a una tumefacción de tales glándulas, sin ninguna otra consecuencia, o bien, aunque ello sucede raramente, las glándulas sexuales pueden atrofiarse causando esterilidad. El virus puede difundirse también al páncreas y a las meninges, si bien, incluso en estos casos, las complicaciones graves son muy escasas.

Inmunidad Existen distintas formas de inmunización contra la parotiditis, pero todas ellas se basan en la producción de anticuerpos específicos. Después de haber sido afectado por esta enfermedad, el organismo comienza a producir anticuerpos y la inmunidad persiste durante toda la vida.

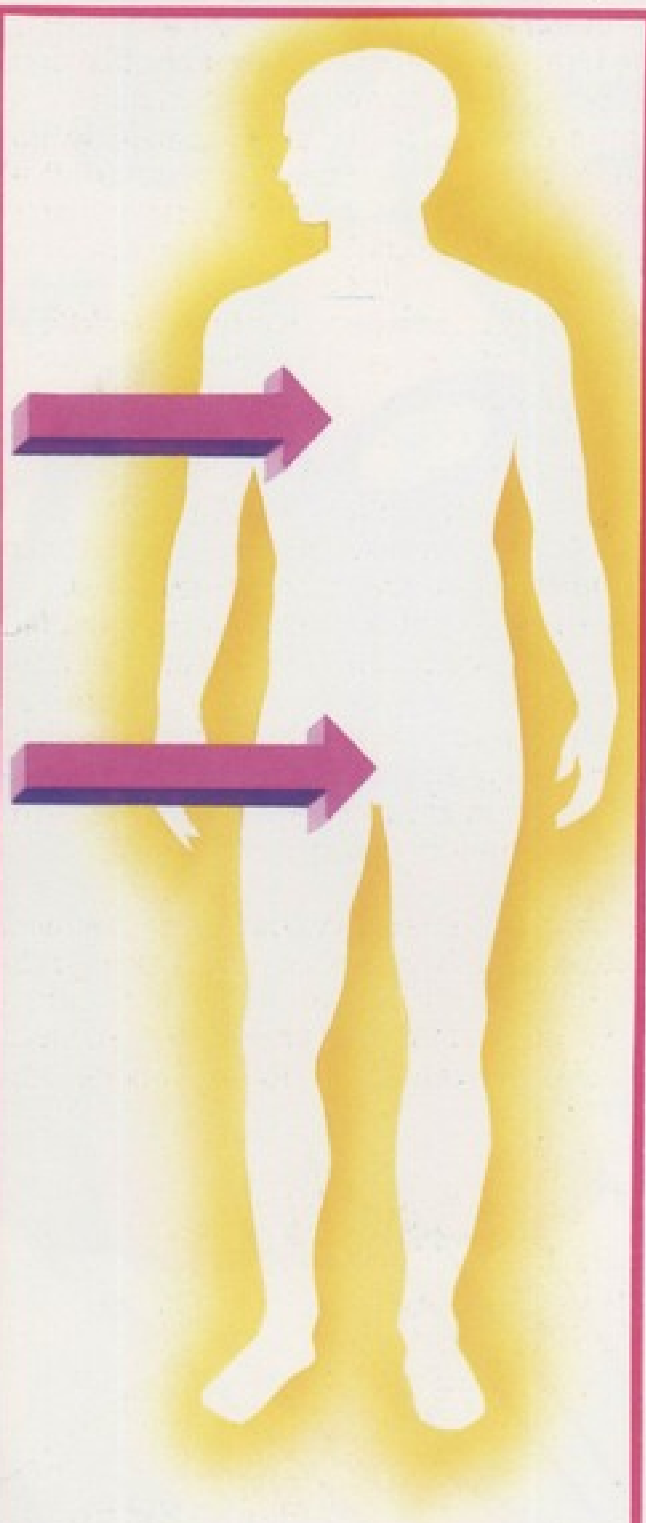
La profilaxis de la parotiditis epidémica se realiza actualmente mediante vacunas con virus vivos. Está ampliamente probada la eficacia de esta vacuna, tanto con la cepa de Smorodintjev como con la de Jeryl Lynn. Actualmente, en España y en Estados Unidos, por ejemplo, la vacuna se suele aplicar a los 15 meses de edad.

Existen algunos casos de inmunidad congénita, como se ha demostrado en investigaciones llevadas a cabo en adultos y niños antes de la administración de la vacuna: sin embargo, ésta no suele mantenerse durante toda la vida como ocurre con la inmunidad adquirida.

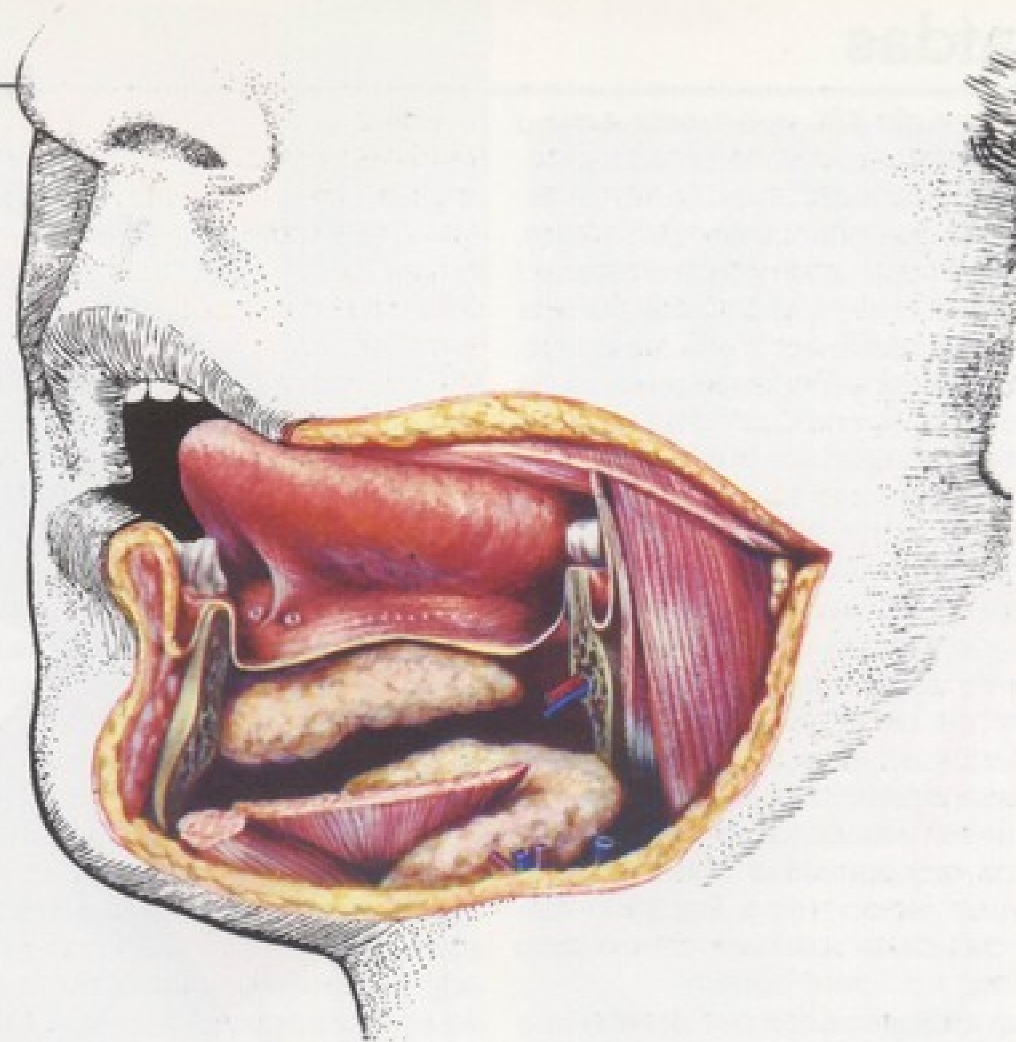
Límites de los conocimientos en este campo Si bien ya se han conseguido vacunas contra la parotiditis, el mecanismo fundamental mediante el cual el virus provoca la infección no se conoce aún



PAROTIDITIS	
incubación	12-28 días
síntomas	síndrome febril, tumefacción dolorosa en las glándulas parótidas
contagio	contacto directo
duración del contagio	en la incubación y dos semanas después del comienzo de la enfermedad
aislamiento	no menos de 18 días desde el comienzo de la enfermedad



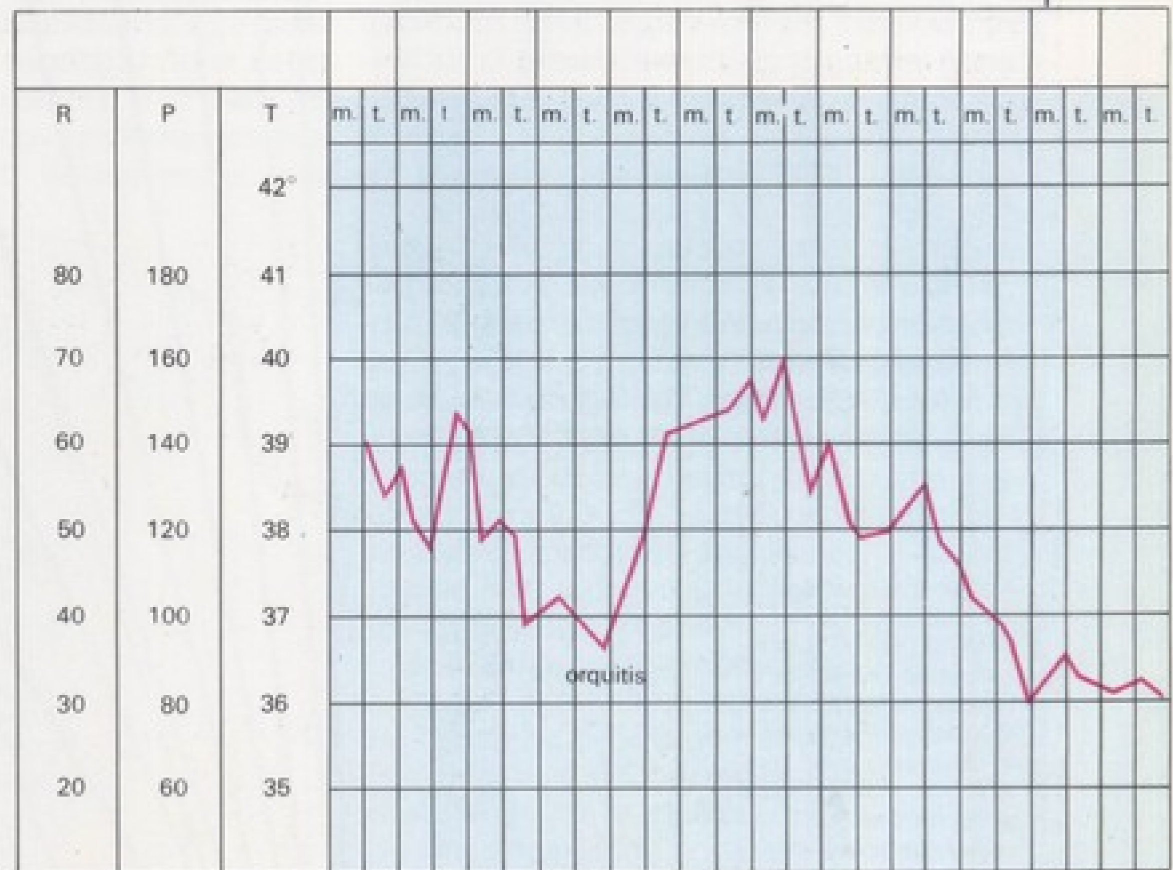
La parotiditis epidémica, si bien se considera una enfermedad benigna, puede provocar, en las personas que ya han pasado la pubertad, en los adultos y a veces también en los niños, complicaciones en el sistema nervioso, y en las glándulas sexuales (testículos, ovarios, mamas), con riesgo de esterilidad.

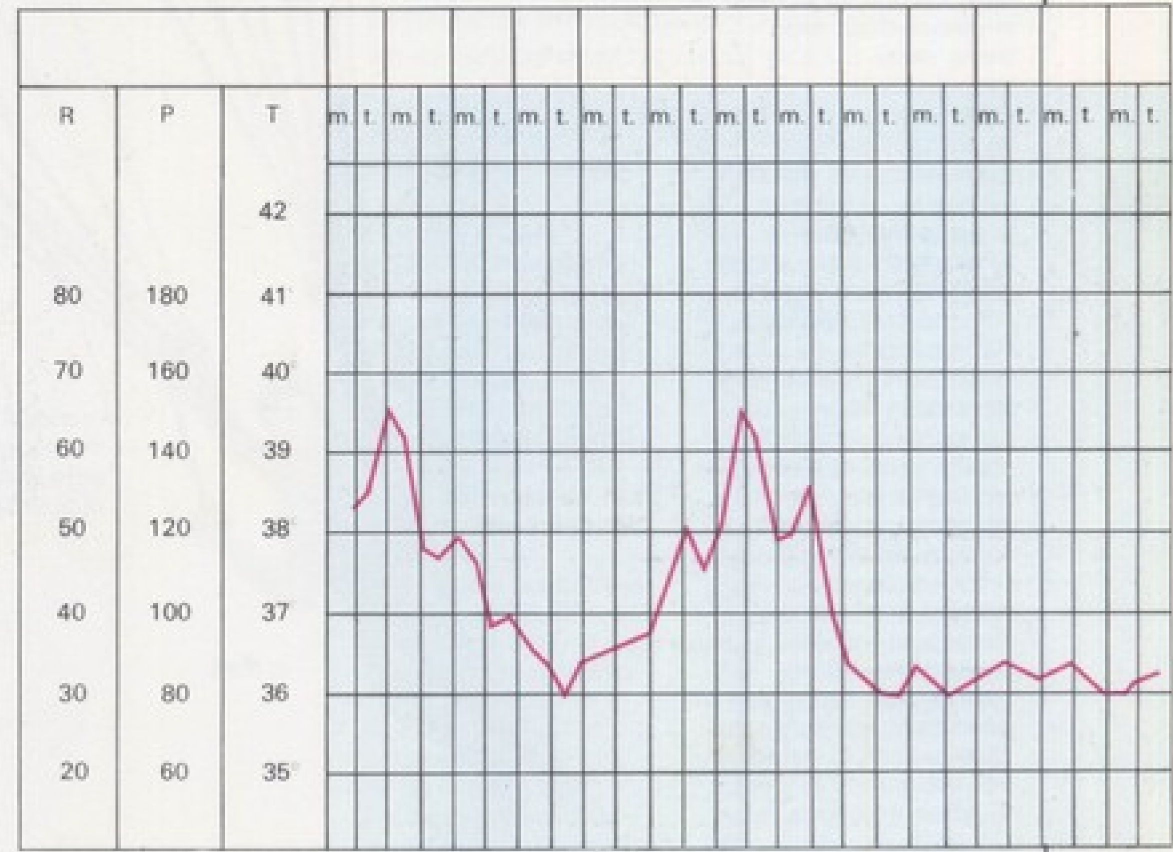


completamente. El virus transfiere su ácido nucleico (es decir, el material capaz de reproducirse) a las células huésped, obligándolas a sintetizar el material necesario para la reproducción viral. Aún está poco claro cómo tienen lugar estos fenómenos.

Tratamiento El tratamiento de la parotiditis es parecido al de un resfriado común o una fiebre. Los médicos generalmente prescriben beber mucho, seguir una dieta adecuada y permanecer en la cama. Pueden administrarse algunos fármacos, como la aspirina, para disminuir el dolor, la inflamación y la fiebre. Ninguna de estas medidas, sin embargo, actúa sobre el propio virus. Simplemente es necesario esperar a que los mecanismos de defensa del organismo lo neutralicen.

Véase **Enfermedades infecciosas; Inmunidad; Vacunación**





Sobre estas líneas y en la página anterior se muestran las principales glándulas salivales, vistas, respectivamente, desde los lados izquierdo y derecho de la cara. Una de estas glándulas, la parótida, se afecta por una enfermedad epidémica, la parotiditis, que provoca en ella el agrandamiento y la tumefacción. En los primeros días, la inflamación resulta intensamente dolorosa. Al cabo de seis a diez días, las glándulas vuelven a la normalidad. Generalmente las glándulas curan sin secuelas una vez superada la enfermedad. Durante el período inflamatorio se puede producir un bloqueo en el movimiento de la mandíbula. Este inconveniente puede llegar a impedir una normal alimentación. A la derecha se reproducen dos diagramas de la curva febril —por la mañana (m) y por la tarde (t)— en el transcurso de una parotiditis epidémica: arriba, brusco aumento de la temperatura en coincidencia con la aparición de una orquitis (inflamación del testículo). Abajo, ascenso febril en coincidencia con una nueva localización en las glándulas submandibulares. R, respiración; P, pulso; T, temperatura.

Paracaídas

Durante el siglo XIX se llevaron a cabo numerosos experimentos con paracaídas rudimentarios, con el fin de obtener un sistema que ralentizase, sin peligro, la caída desde una gran altura. Hasta la I Guerra Mundial el paracaídas sólo fue una forma de entretenimiento; sin embargo, durante esa guerra tanto los tripulantes de globos del ejército como un gran número de aviadores salvaron sus vidas gracias al uso de este invento.

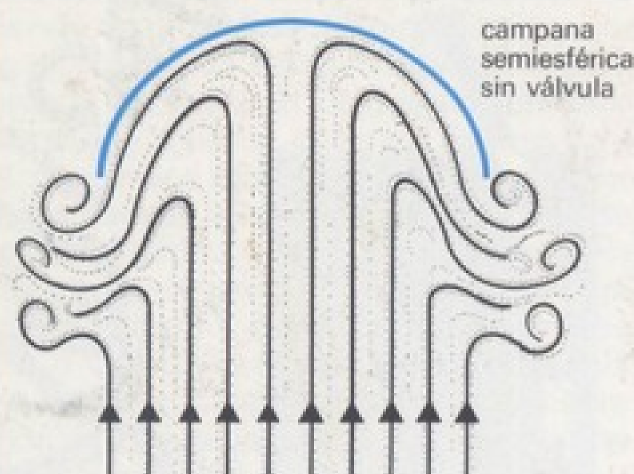
Con los medios y las técnicas de instrucción modernos, un principiante puede llegar a aprender las técnicas de lanzamiento en paracaídas en sólo cuatro horas, pudiendo llegar a probar el mismo día la emoción de lanzarse desde un avión. Con la práctica, un paracaidista puede llegar a lanzarse desde 5.000 m y dejarse llevar en caída libre hasta 600 m de altura antes de abrir el paracaídas (naturalmente desde alturas superiores a los 5.000 metros es necesaria la máscara de oxígeno con la correspondiente botella).

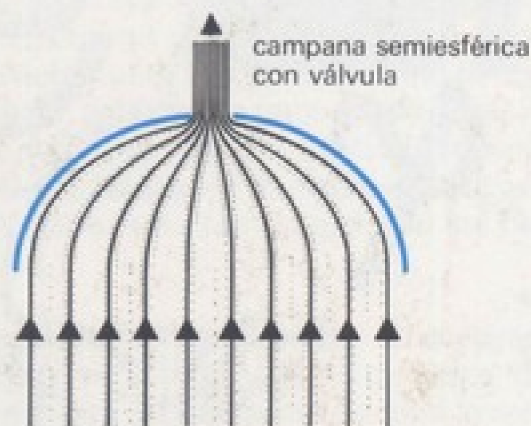
Lanzarse en paracaídas por diversión o deporte es una cosa corriente, pero el paracaidismo tiene, sobre todo, diversas connotaciones prácticas. Desde la II Guerra Mundial, los paracaídas han sido utilizados para lanzar tropas, enviar abastecimientos y vehículos, proporcionar una salida rápida y segura del avión en caso de peligro, arrojar bombas y minas especiales, frenar los aviones y los automóviles de carreras, e incluso para recuperar cápsulas espaciales.

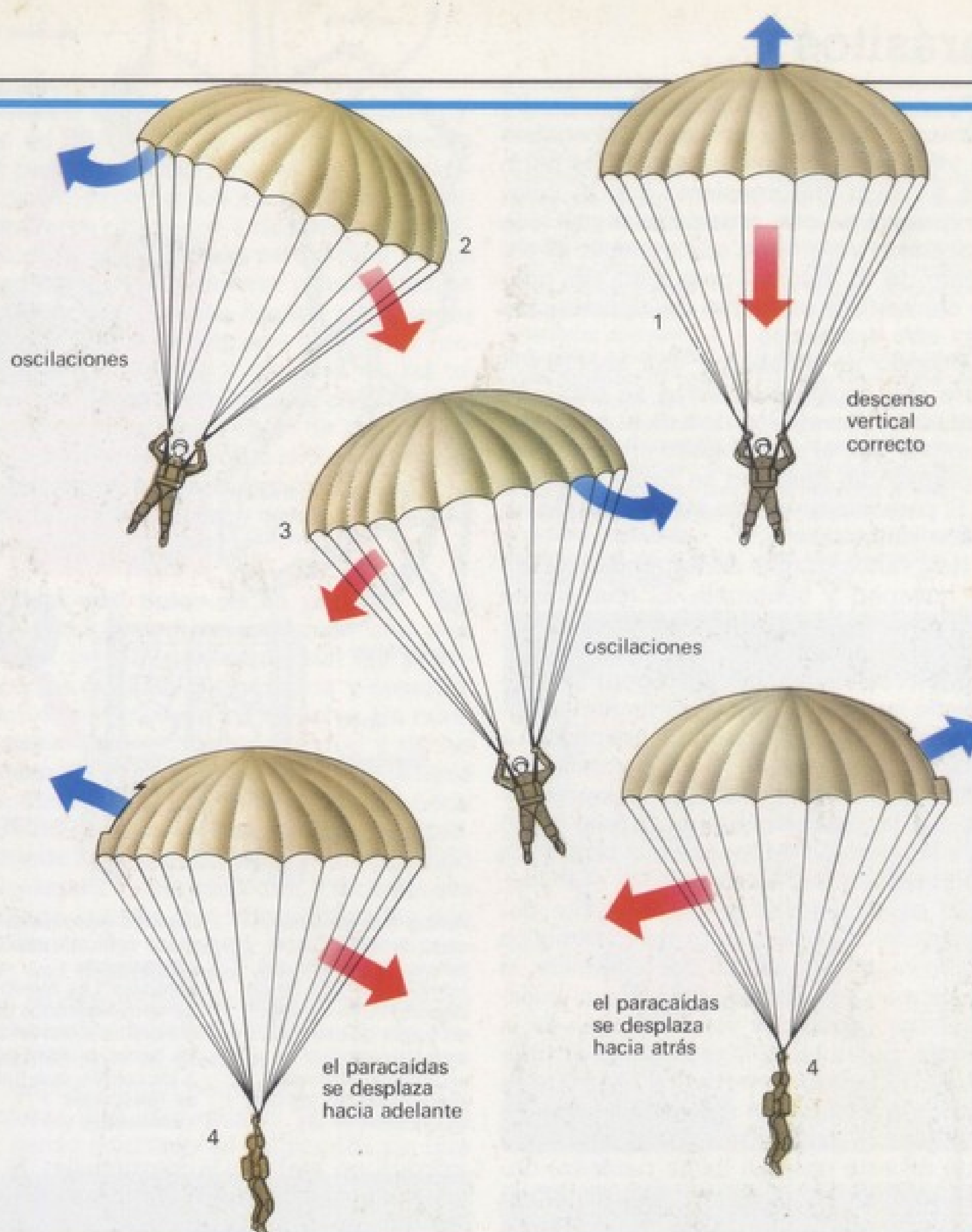
Un equipo de paracaídas consta de un saco, dentro del cual se encuentra plega-



Arriba, paracaídas en descenso libre. El paracaidista va sujeto con atalajes fuertes y ligeros; éstos no sólo lo sostienen durante el descenso, sino que atenúan y distribuyen la fuerte tracción impulsiva en el momento de la apertura de la campana. Apenas el paracaidista toca tierra, debe desprenderse rápidamente de los atalajes para que eventuales golpes de viento, al inflar la campana, no lo arrastren. Los cordones están fijados a las costuras de los sectores, que constituyen puntos reforzados de la campana. Los cosidos auxiliares se oponen también a los desgarros en sentido vertical. Se observa la tobera de acción manual que permite, cuando se regula la apertura, dirigir lateralmente el descenso. Abajo, "paracaídas" diseñado por Leonardo da Vinci (Códice Atlántico, f. 1.058).







En un paracaídas de campana semiesférica, arriba, se ve cómo el aire está obligado a salir por los lados. En cambio, abajo, con la campana provista de válvula de escape, el aire se concentra en su proximidad y sale sin formar torbellinos. A la derecha: (1) descenso de un paracaídas con válvula de escape perfectamente vertical en aire tranquilo; (2) descenso de un paracaídas sin válvula; el aire debe salir lateralmente provocando la fuerte inclinación de la campana. A esta inclinación, le sucede una posterior de sentido opuesto (3); con tobera lateral (4), el paracaídas da salida a parte del aire en la dirección deseada, desplazando el punto de caída a voluntad.

do, y de un atalaje. El saco contiene, en realidad, tres paracaídas: el paracaídas principal, el paracaídas de emergencia y el paracaídas piloto. Unos cordones de suspensión unen la campana o velamen a los atalajes, diseñados para que se acoplen al paracaidista, de forma que no le produzcan daño alguno durante la fortísima deceleración que se produce al desplegarse el paracaídas, y para que el paracaidista pueda liberarse rápidamente de éste en caso de caer sobre el agua.

Salto con paracaídas La preparación para el salto de un principiante comienza sobrevolando una vez la zona de toma de tierra, llamada "zona de saltos", a una altura de unos 900 m. Desde el avión se lanza una bengala fumígena de modo que el entrenador pueda apreciar la velocidad y dirección media del viento. En la siguiente pasada sobre la zona de saltos, el paracaidista apoya un pie sobre una pequeña plataforma existente en el exterior de la puerta del avión, extiende la otra pierna fuera del avión y se sujeta al agarrador del ala. El instructor da la voz de "salto" cuando el avión llega a una posición tal que permita al paracaidista tomar tierra dentro de la zona establecida. En el momento en que abandona el avión, el paracaidista extiende los brazos y las piernas y flexiona hacia atrás la espalda para lograr una posición aerodinámica estable. En caída libre, el cuerpo humano tiene una velocidad de descenso que puede superar los 190 km por hora en condiciones especiales de rozamiento y resistencia del aire. El paracaídas se abre mediante un dispositivo automático a tiempos, por medio de una anilla accionada por el paracaidista, o bien por una cinta extractora atada al avión. Al tirar de la cuerda de apertura automática se libera la clavija de cierre que sujeta las tapas del saco del paracaídas y, seguidamente, un muelle expulsa un pequeño paracaídas de frenado, el cual, al abrirse, tira del paracaídas principal y lo extrae del saco. La velocidad de caída desciende de pronto a 16-24 km por hora, produciendo un tirón conocido como "golpe de apertura".

El aire contenido en la campana proporciona la presión que contrarresta la fuerza de gravedad. La velocidad de descenso depende del peso del paracaidista, del diámetro y de la forma de la campana, de la permeabilidad al aire del tejido del velamen (corrientemente nailon), de la densidad del aire, que aumenta a medida que disminuye la altura, y de la abertura (única en el vértice de la campana —válvula de escape— o más de una —toberas— a lo largo de los sectores). Con un paracaídas militar estándar, el paracaidista puede orientarse a derecha o a izquierda tirando de las anillas existentes en los cordones de suspensión, que hacen variar las dimensiones de las toberas triangulares del velamen. Los paracaídas deportivos varían, además de en la forma, en las aberturas para la fuga de aire que proporcionan un control suficiente sobre la dirección y sobre la velocidad de descenso para tomas de tierra muy precisas. A una velocidad de descenso normal, el impacto de la toma de tierra es poco más o menos igual al producido en un salto libre desde una altura de 1,5 metros.

El peligro mayor para un paracaidista puede presentarse como consecuencia de un descenso e impacto contra el suelo con vientos fuertes; sobre superficies de agua donde el tejido de la campana, al mojarse, se hundirá rápidamente arrastrando consigo al paracaidista; o sobre terreno boscoso, donde las ramas de los árboles podrían dejarlo suspendido, haciéndole difícil liberarse del atalaje, y donde, además, el choque del cuerpo con las ramas podría causarle fracturas o aún más graves consecuencias.

Véase **Asiento lanzable; Vuelo con energía humana**

Parásitos

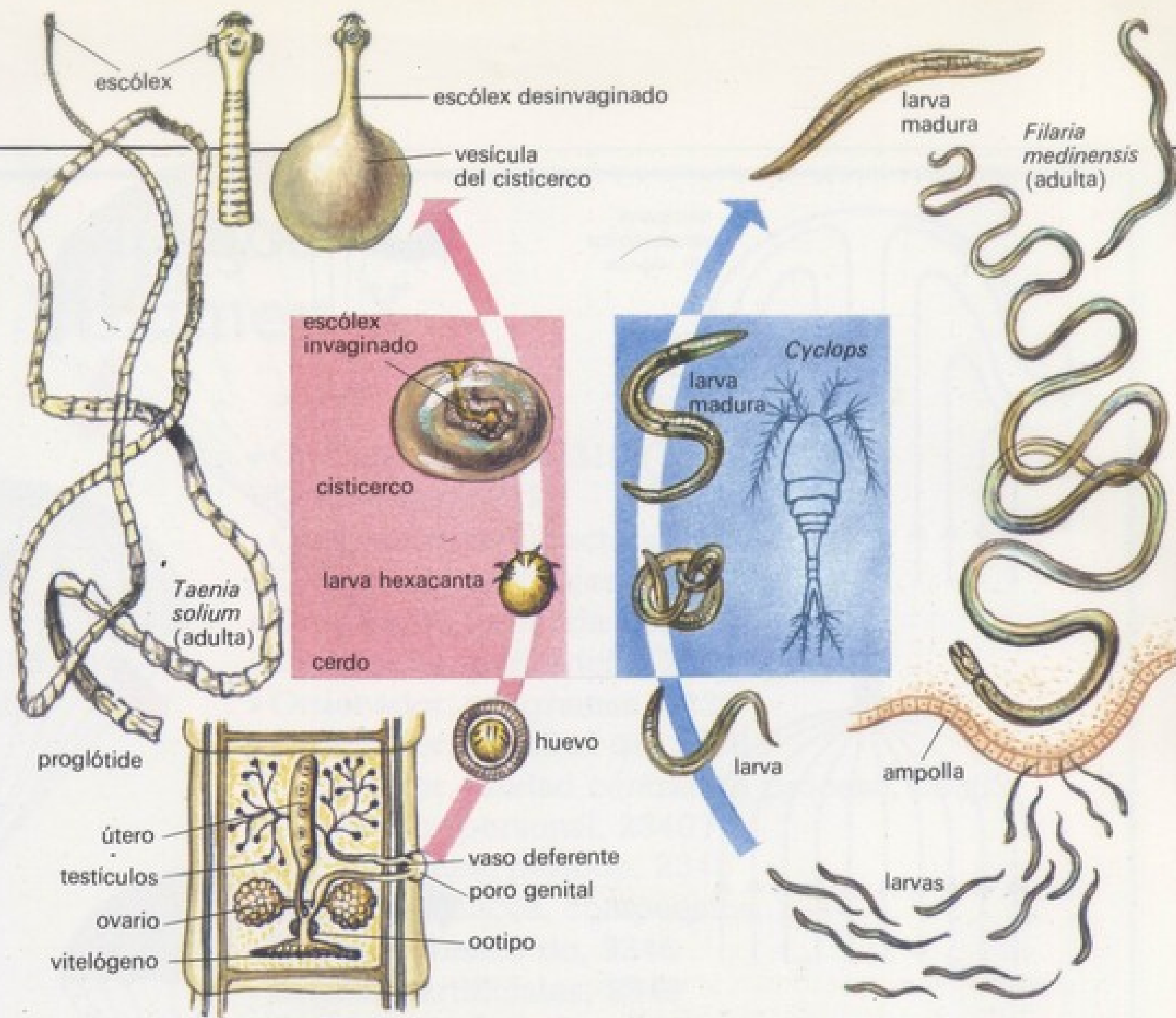
El mosquito que no cesa de zumbar en nuestros oídos en las cálidas noches de verano es un típico ejemplo de parásito, es decir, de organismo que se nutre a expensas de otro organismo vivo. Cada organismo vivo tiene que recabar el alimento de su entorno, pero a su vez puede convertirse en fuente de alimentación para otro organismo.

Cuando se establece una asociación entre dos organismos vivos se habla de *simbiosis*. Uno de los dos es el huésped, mientras que el que obtiene el alimento a expensas del huésped se llama simbionte. El parasitismo es una modalidad de relación simbiótica.

Hay varios grados de dependencia entre huésped y simbionte. El *mutualismo* consiste en que ambos organismos se benefician mutuamente. Las termitas, por ejemplo, son incapaces de digerir la celulosa de la madera, que es su fuente de alimentación. En su intestino hospedan a unos protozoos capaces de descomponer esta sustancia, de manera que los productos de la descomposición sirven tanto para la nutrición de los mismos protozoos como para la de las termitas.

En el *comensalismo*, el simbionte depende del huésped, pero este último no recibe ningún beneficio del simbionte: la relación no perjudica ni favorece al huésped, como podemos ver en el caso de la rémora, pez marino que se pega al tiburón para aprovecharse de los restos de su comida, mientras que este último no se ve afectado. En el *parasitismo*, el simbionte (que en este caso se llama *parásito*) obtiene realmente un beneficio a expensas del huésped. El grado de dependencia del parásito y la entidad del perjuicio que causa al huésped son variables. El mosquito sólo efectúa visitas periódicas para comer, y el daño causado (las irritaciones de sus picaduras) es mínimo si no se tienen en cuenta las enfermedades que transmite.

Los parásitos atacan tanto a los vegetales como a los animales; la mayor parte son animales, pero también hay parásitos vegetales, como los hongos (aunque estos se han clasificado en un reino aparte porque no realizan la fotosíntesis). El tamaño de los parásitos varía muchísimo, desde los virus ultramicroscópicos y los protozoos parásitos hasta la solitaria del intestino humano, que puede alcanzar hasta una longitud de nueve metros. El mecanismo de la relación parasitaria es el producto de una larga y elaborada evolución paralela de ambas especies. Se trata de una relación muy difundida en los ecosistemas y es una faceta normal del proceso evolutivo.

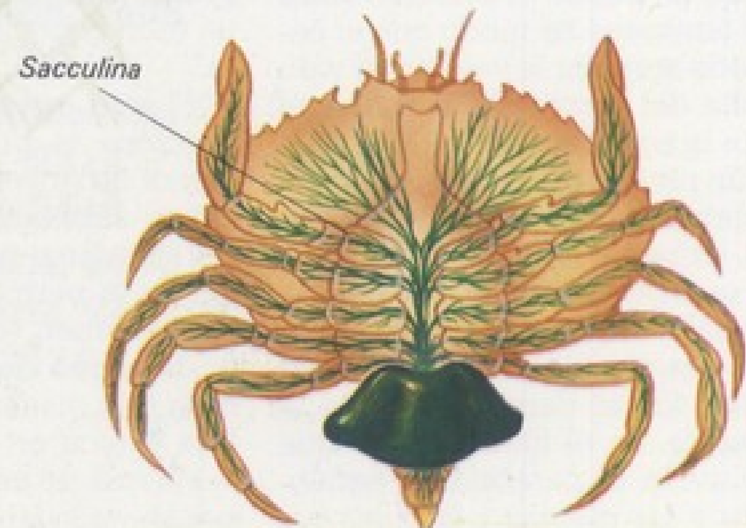


Arriba, a la izquierda, ciclo de la *Taenia solium*, la solitaria del hombre. Se trata de un cestodo cuyo cuerpo, en forma de cinta, está formado por segmentos, llamados proglótides, en los que se encuentran los órganos reproductores, y una cabeza o escólex con ganchos y ventosas. Los huevos de tenia, liberados por el hombre a través de las heces, pueden pasar a los cerdos, que hacen de huéspedes intermedios, y desarrollarse en ellos. El hombre se contagia cuando come carne de cerdo infectada. A la derecha, el ciclo de la filaria de Medina (*Dracunculus medinensis*), un parásito subcutáneo del hombre, que se infecta cuando bebe agua con pequeños crustáceos *Cyclops*, que hacen la función de huéspedes intermedios. Una vez en el hombre, la filaria pasa del intestino al tejido subcutáneo, donde forma ampollas. →

Distintos tipos de parásitos Es conveniente destacar la diferencia existente entre los parásitos que viven fuera del cuerpo del huésped (llamados *ectoparásitos*) y los que viven fundamentalmente dentro de él, al menos durante una etapa de su desarrollo (*endoparásitos*). Algunos ectoparásitos, como las pulgas y los mosquitos, sólo atacan al huésped periódicamente para alimentarse, mientras que otros, como las garrapatas y los piojos, viven sobre la piel o en las cavidades del cuerpo que se abren directamente al exterior. Otra diferencia importante entre los distintos parásitos estriba en la importancia del daño que causan a su huésped. Aunque por lo general a un parásito le conviene



El muérdago, a la izquierda, es una planta parásita bastante común, que forma grandes penachos en las ramas de los árboles, sobre todo en las Salicáceas y Aceráceas. Con sus raíces perfora la madera hasta llegar a las partes vitales de la planta, de donde extrae las sustancias alimenticias. Pero esto no significa que no posea clorofila, y, por tanto, actividad fotosintética. Las flores son amarillas, y los frutos son unas bayas esféricas, lisas, blanquecinas, con una pulpa viscosa que ha dado origen a su nombre latino (*viscum*). También entre los animales encontramos especies que viven en estrecha asociación, es más, uno de ellos se inserta en el otro. Así ocurre con la *Sacculina*, un cirrípedo que en la fase adulta vive como endoparásito de los cangrejos. La *Sacculina*, que está dibujada en verde, consta de un saco y numerosas ramificaciones que se reparten por el cuerpo del cangrejo y le perjudican muy gravemente.



mantener vivo al huésped, puesto que depende de él para alimentarse, los hay que han conseguido sobrevivir después de la muerte del huésped. Un gusano cilíndrico, *Capillaria hepatica*, pone sus huevos en el hígado de los roedores y otros mamíferos. Estos huevos sólo eclosionan si salen del tejido hepático y se exponen al oxígeno del aire; este proceso puede tener lugar tras la muerte y descomposición del roedor o cuando el roedor es devorado por un carnívoro, con la consiguiente liberación de los huevos de *Capillaria* en las heces de este último.

Los parásitos extraen del cuerpo sangre y sustancias nutritivas y pueden lesionar directamente los tejidos, como la *Taenia solium*, que posee unos garfios con los que se sujeta a la pared intestinal; además, pueden introducir en el cuerpo del huésped bacterias nocivas sin que ello les perjudique.

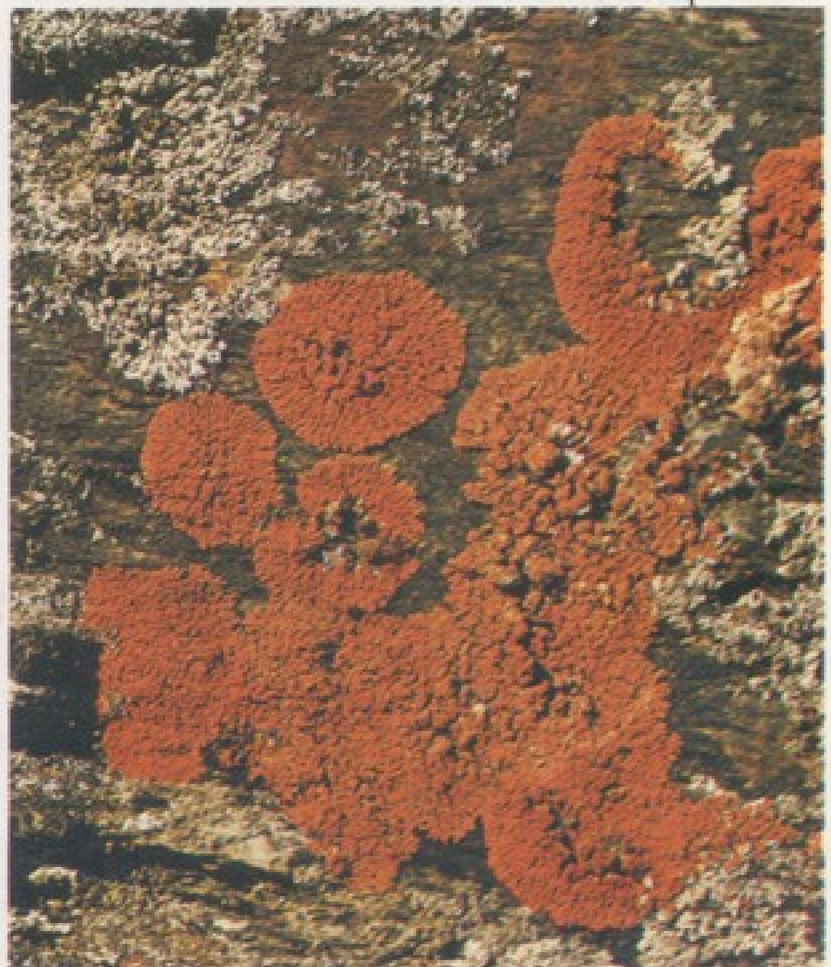
Capacidad de adaptación Los parásitos que viven dentro del organismo del huésped han experimentado una evolución adaptativa sorprendente. Muchos de ellos, como el común dístomo hepático (*Fasciola hepatica*), tienen complicados ciclos vitales que les llevan, a través de uno o más huéspedes, a estadios diferentes en su desarrollo, cada uno de ellos con potenciales reproductores muy elevados. El éxito que obtienen las especies en su adaptación al parasitismo depende ante todo de su capacidad de coordinar estrechamente su propio ciclo vital con el del huésped, lo que se traduce en muchos casos en adaptaciones especiales. Además de perder órganos innecesarios, los parásitos, en especial los endoparásitos, pueden verse obligados a desarrollar modificaciones estructurales para poder fijarse a su huésped, alimentarse o reproducirse. Adaptaciones para la fijación son la boca en ventosa de la lamprea, el escólex (cabeza) con ventosas y ganchos de las tenias, etc. Un problema que se plantea a los parásitos intestinales es el de contrarrestar la acción de los enzimas digestivos del huésped: las tenias la evitan con la secreción de antifermentos y con la producción de un mucus protector.

Ciclo vital típico de un parásito Los animales que se han adaptado con más éxito a la vida parasitaria son los protozoos, los gusanos platelmintos y nematelmintos, los ácaros y los insectos. Un buen ejemplo de un típico ciclo vital y de las adaptaciones que implica es el de la tenia o solitaria. Este parásito intestinal no tiene sistema digestivo, porque absorbe directamente las sustancias que ya ha digerido el huésped. Es hermafrodita, y fecunda sus propios huevos que son eliminados con las heces del huésped. Los huevos pueden ser ingeridos por otro animal, en el que se desarrollan las larvas que salen de los huevos (un estadio intermedio del desarrollo), que se fijan en el tejido muscular donde forman pequeñas cápsulas protectoras llamadas quistes. Si la carne de un cerdo infectado es consumida sin que se haya cocido bien, estos quistes se abren en el intestino del hombre, saliendo unas larvas que luego se convierten en tenias adultas; éstas perjudican al huésped, quitándole alimento y provocando la pérdida de energía.

→ Cuando la piel está en contacto con el agua, la filaria hace salir miles de pequeñas larvas que nadan en el agua hasta que infectan de nuevo a un crustáceo.
En el mundo animal y vegetal se pueden establecer diversas formas de asociación entre organismos con ventajas recíprocas para ambos, que es la simbiosis en sentido estricto. Un ejemplo de ello es la asociación de la actinia y el cangrejo ermitaño (foto bajo estas líneas), en la que aquélla defiende al crustáceo gracias a sus células urticantes, mientras que éste confiere movimiento a la actinia y le facilita así la captura de alimento. En la foto de más abajo vemos un liquen, que es la simbiosis entre un hongo y un alga. Abajo, a la izquierda, puede observarse una asociación entre organismos animales en la que ninguno de los dos perjudica ni favorece al otro: un anélido ha excavado su tubo en una formación de coral.







Véase **Enfermedades tropicales; Paludismo**

Parto

Todavía a principios del siglo XX eran frecuentes los fallecimientos de las parturientas y de los recién nacidos, producidos por la falta de higiene y por la utilización de narcóticos y barbitúricos para disminuir el dolor del parto. En contraste con aquella época, hoy en día dar a luz un hijo ha llegado a ser mucho menos peligroso. En los últimos tiempos se está tratando de acercar la ciencia médica moderna a las costumbres tradicionales, en lo que se refiere al ambiente familiar y a un estrecho contacto entre los progenitores y el recién nacido.

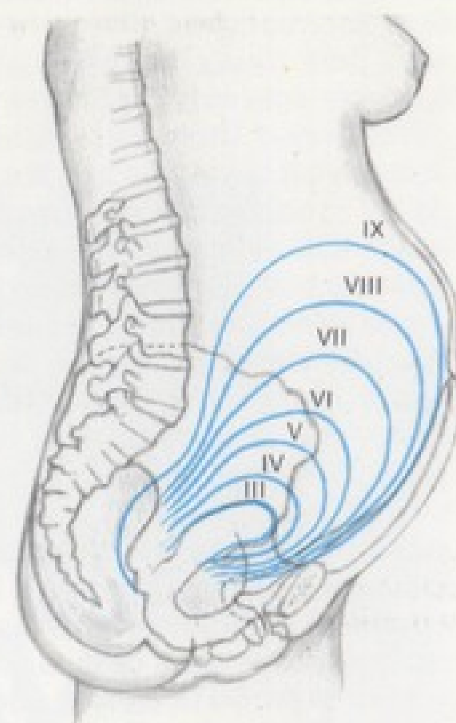
La gestación y el parto Durante la gestación, las hormonas del cuerpo amarillo facilitan la creación de un ambiente favorable para el feto en el útero y, en consecuencia, colaboran en el proceso de llevar a término la gestación. Cuando la cantidad de estas hormonas disminuye, comienza a segregarse otra, la oxitocina (producida por la hipófisis), que estimula las contracciones uterinas.

Durante los últimos meses del embarazo, la futura madre percibe frecuentemente "contracciones" rítmicas, que representan la actividad del útero y que provocan dolores abdominales. Estas contracciones aumentan de intensidad y de frecuencia hasta que llega un momento en que se repiten a intervalos de 10 a 15 minutos, dando comienzo los dolores. El útero se contrae hasta que el cuello uterino alcanza un estado de dilatación que hace posible la salida del recién nacido.

Aunque con frecuencia se utilizan sustancias de acción anestésica para aliviar los dolores del parto, durante los últimos años muchas mujeres han optado por el parto "natural", un término genérico que designa un conjunto de técnicas y posturas mediante las cuales la futura madre aprende a relajarse y a minimizar el esfuerzo. Durante las largas horas que duran las contracciones se controla continuamente el latido cardíaco fetal.

En el momento en que se rompe la bolsa amniótica en la que el feto ha permanecido protegido, el líquido amniótico sale por la vagina y la madre comienza instintivamente a hacer esfuerzos: desde este momento, la presión derivada de las contracciones se ejercerá exclusivamente sobre el feto. En el transcurso de aproximadamente una hora, aparece la cabeza del recién nacido, vuelta de lado en la pelvis, que gira gradualmente hacia abajo mientras que sale del todo. Cuando el recién nacido ha salido completamente, permanece sin embargo unido todavía a la placenta, que lo ha nutrido durante todo el tiempo que duró la gestación, por medio del cordón umbilical. El cordón umbilical es seccionado y posteriormente ligado. No obstante, cuando el niño ya ha nacido, las contracciones no han acabado del todo. El útero continúa contrayéndose hasta que la placenta y las membranas son totalmente expulsadas a través de la vagina junto con los otros anexos fetales y el resto del líquido amniótico.

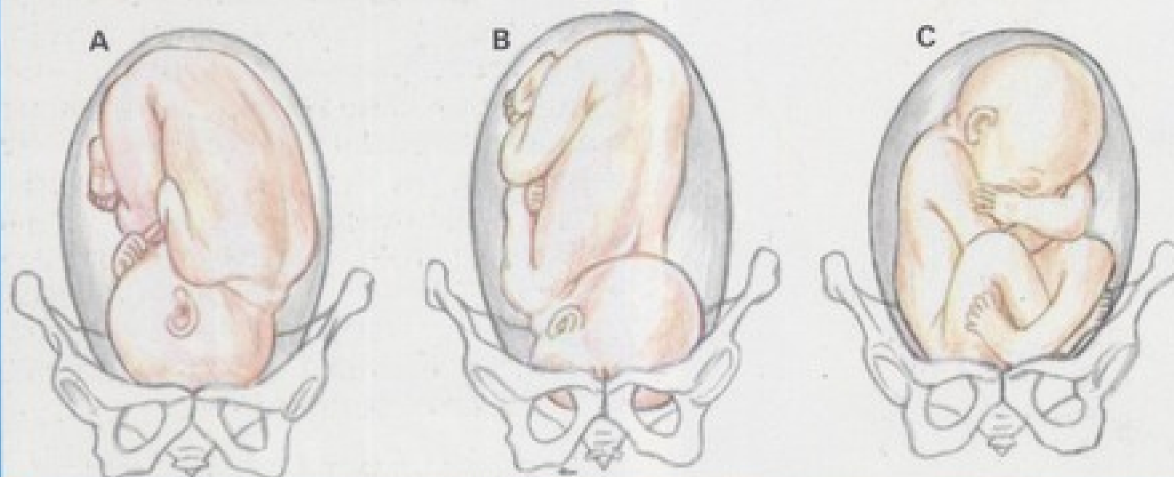
Complicaciones Algunas veces, el recién nacido no se encuentra en la posición correcta para el parto, esto es, la ca-



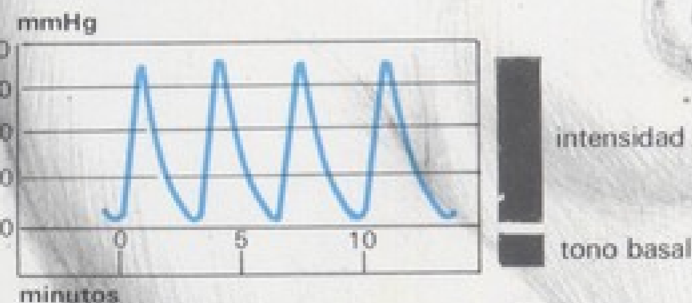
El parto es sin lugar a dudas un feliz acontecimiento si se le libera de las indudables preocupaciones que el mismo comporta. Se piensa habitualmente que se trata de un proceso complicado, aunque natural, y que necesita de un constante control médico. Las modificaciones maternas durante la gestación comprenden algunos fenómenos externos, pero principalmente afectan a los órganos internos. En la ilustración que aparece arriba, a la derecha, se observan las modificaciones del volumen y profundidad del útero desde el comienzo hasta el final de la gestación. Abajo, a la izquierda, aspectos más frecuentes de la posición fetal: (A) posición occipital, (B) posición de cara, (C) posición podálica. En el dibujo de la página siguiente, en el centro, disposición del feto poco antes del parto en su posición óptima. Se aprecia la bolsa de las aguas (cavidad amniótica) que, comprimida por la cabeza fetal durante su progresión por el canal del parto, se rompe provocando la salida del líquido.

En la página siguiente, arriba, de izquierda a derecha, fase inicial de la dilatación del cuello uterino, fase intermedia en la que la tracción ejercida por las contracciones del miometrio se transmite a todo el cuello y fase final de la dilatación extendida a todo el cuello.

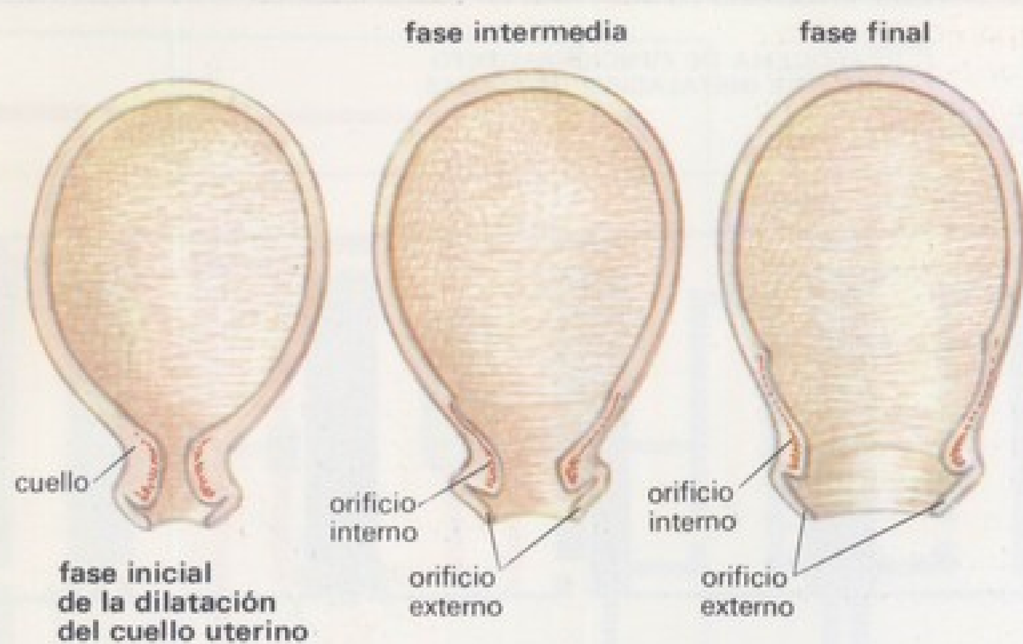
DINAMICA DE LAS TRES FORMAS MAS FRECUENTES DE LA POSICION FETAL

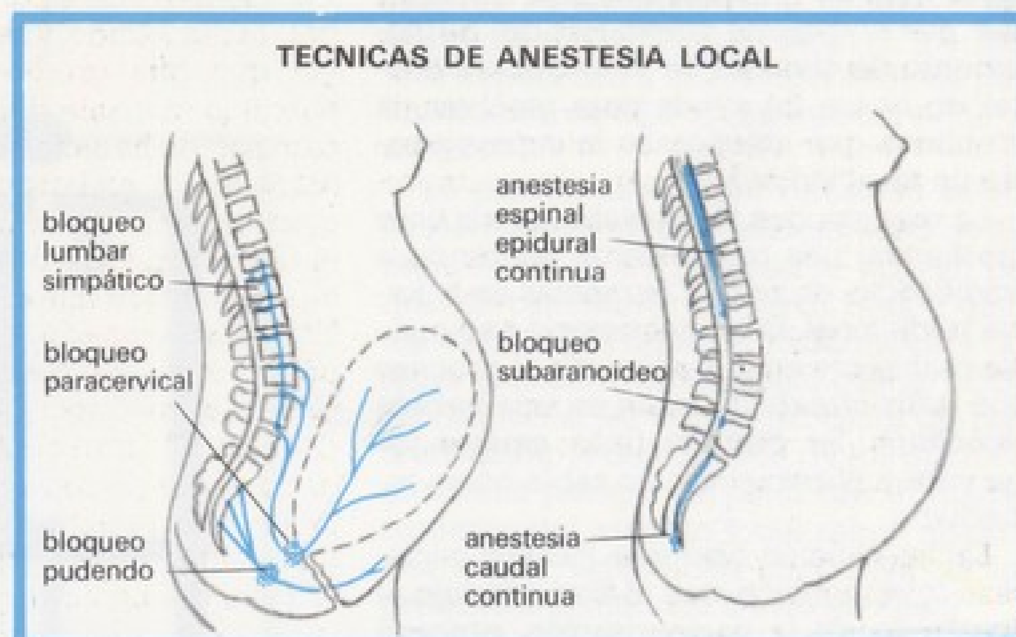


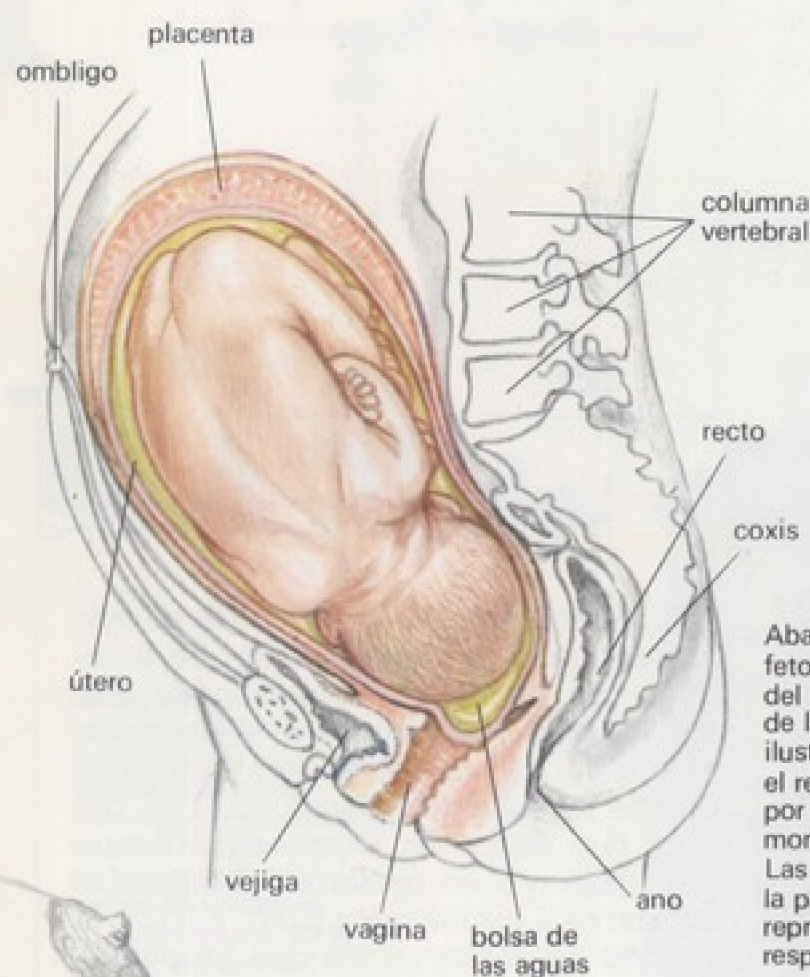
mmHg
50
40
30
20
10
0
5
10
minutos
intensidad
tono basal

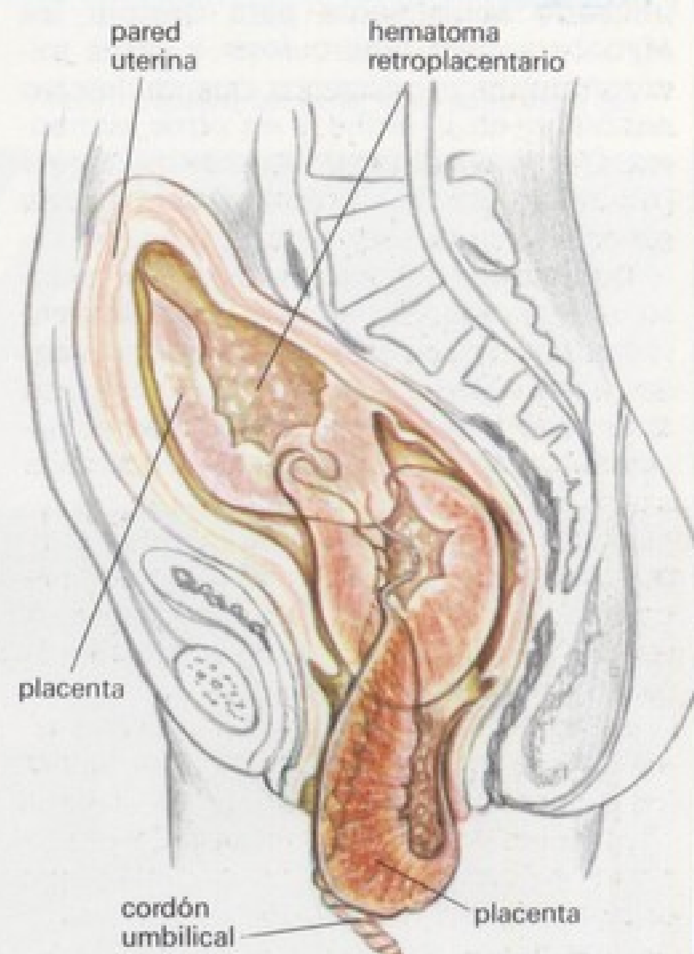


movimientos de la respiración superficial acelerada en relación con las contracciones









A la derecha de estas líneas, desprendimiento placentario al término del parto. Arriba y a la derecha se representa las técnicas más comunes de anestesia local utilizadas en obstetricia: a la izquierda, inyección y difusión del anestésico mediante bloqueos pudendo y paracervical; a la derecha, inyección lumbar intermitente para anestesia epidural, subaranoidea y caudal continua.

Abajo, descenso del feto a través del canal del parto. La sucesión de las cabezas de la ilustración representa el recorrido seguido por el feto hasta el momento de su salida. Las dos gráficas de la página anterior representan, respectivamente, arriba, las presiones originadas por la contracción uterina, en las que puede leerse el tono basal, la intensidad y la frecuencia; abajo, el diagrama nos muestra cómo varía la frecuencia e intensidad respiratoria durante una contracción uterina.

beza no se encuentra en la posición más inferior. En el caso del parto podálico, el recién nacido se encuentra con la cabeza hacia arriba, presentando por tanto los pies o las nalgas; en estos casos, la cabeza puede ser comprimida contra el cordón umbilical, privando al niño de la sangre suficiente y también del oxígeno. En estos casos el médico intervendrá guiando al recién nacido mientras que un ayudante comprime el abdomen de la parturienta. Cuando el niño está situado en posición transversal (es decir, de lado) es extraido generalmente mediante una cesárea, es decir, por medio de una intervención quirúrgica abdominal.

Aunque habitualmente la madre se encuentra tendida durante el parto (una costumbre adoptada bastante recientemente para comodidad del obstetra), en muchos países industrializados se están utilizando, con buenos resultados, unas sillas especiales para el parto. Representan un retorno a la posición agachada adoptada en el pasado, que puede abreviar en 1/3 el período de tiempo del parto gracias a la ayuda prestada por la fuerza de la gravedad durante el esfuerzo. Otro retorno a los métodos tradicionales consiste en la renovada popularidad de la matrona, que asiste a la madre durante la gestación y el parto, requiriendo la ayuda del médico únicamente en caso de emergencia.

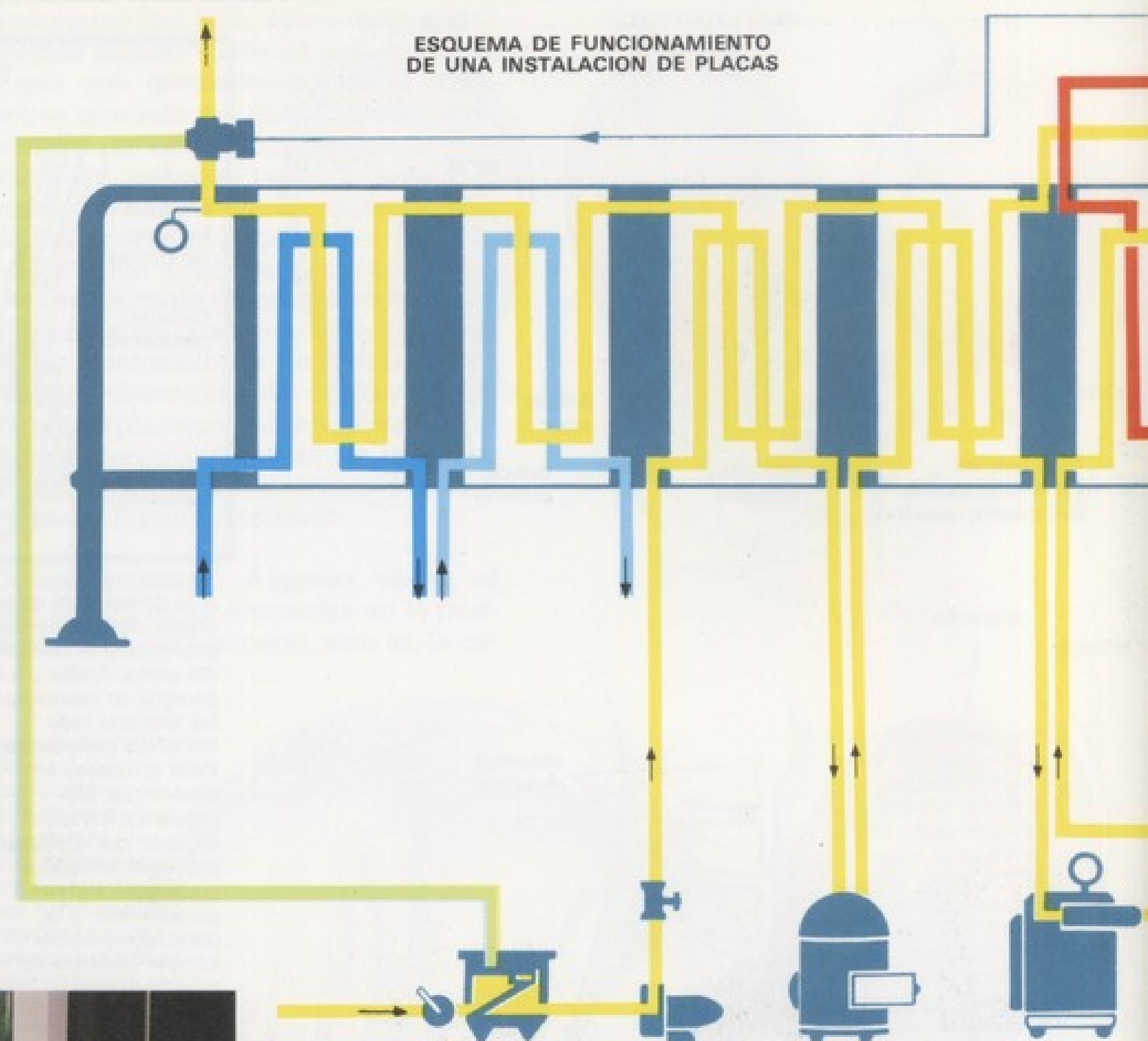
Véase **Concepción; Embarazo; Ginecología**

Pasteurización

En 1862, un cervecero de Lille (Francia) fue a visitar al nuevo jefe del departamento de ciencias de la universidad local, en busca de ayuda para resolver un problema que amenazaba la supervivencia de su actividad.

La cerveza que fermentaba en sus tinas presentaba una preocupante tendencia a acidificarse, en vez de fermentar de la forma tradicional. En aquel tiempo nadie sabía realmente en qué consistía el proceso que transformaba la malta en una bebida alcohólica. Se perdían tinas enteras de cerveza y el cervecero no sabía cómo remediarlo.

Dicha petición hizo que Pasteur iniciase la investigación que al final condujo al desarrollo de la pasteurización, proceso utilizado actualmente para destruir los *Mycobacterium tuberculosis* y otros microorganismos patógenos, que se pueden encontrar en la leche y en otros alimentos. Durante sus investigaciones, Pasteur estableció que la alteración de la cerveza estaba causada por un organismo viviente que podía crecer y reproducirse incluso en ausencia de oxígeno. El tratamiento ideado por Pasteur sirve para matar la mayor parte de las bacterias responsables de la degeneración de la comida. La pasteurización se emplea para impedir que puedan proliferar aquellos determinados microorganismos que alteran el sabor de muchas bebidas, o, en el caso del vino, cuando se quiere obtener un envejecimiento artificial, o también para detener la fermentación de los vinos que quieren mantenerse dulces.



En la foto junto a estas líneas, un intercambiador de calor de placas para la pasteurización de la leche. En las industrias alimenticias, la utilización de intercambiadores de calor está extremadamente extendida. Actualmente, los tipos más empleados son los tubulares y los de placas, con cierta preferencia por estos últimos, que además de presentar un menor tamaño son más fácilmente desmontables y por lo tanto inspeccionables, además de asegurar una mayor capacidad de intercambio térmico.

La pasteurización se tiene que llevar a cabo de forma que se alteren lo menos posible las características organolépticas del producto.

Pasteurización de la leche La pasteurización se utiliza para el tratamiento de muchos productos distintos, pero sobre todo se conoce por su utilización en el tratamiento de la leche. El proceso consiste en una esterilización parcial, obtenida mediante calentamiento en unas instalaciones especiales. Un sistema más moderno consiste en que la leche caliente y pasteurizada se enfría con agua helada y con leche sin tratar, fluyendo a contracorriente por un sistema tubular. Para eliminar todas las bacterias patógenas, la temperatura de la leche debe mantenerse a 63 °C durante al menos 30 minutos, o a 72 °C durante 15 segundos. Estos métodos de pasteurización se llaman, respectivamente, LTLT, del inglés "un período más largo a una temperatura menor" y HTST, "alta temperatura durante breve tiempo".

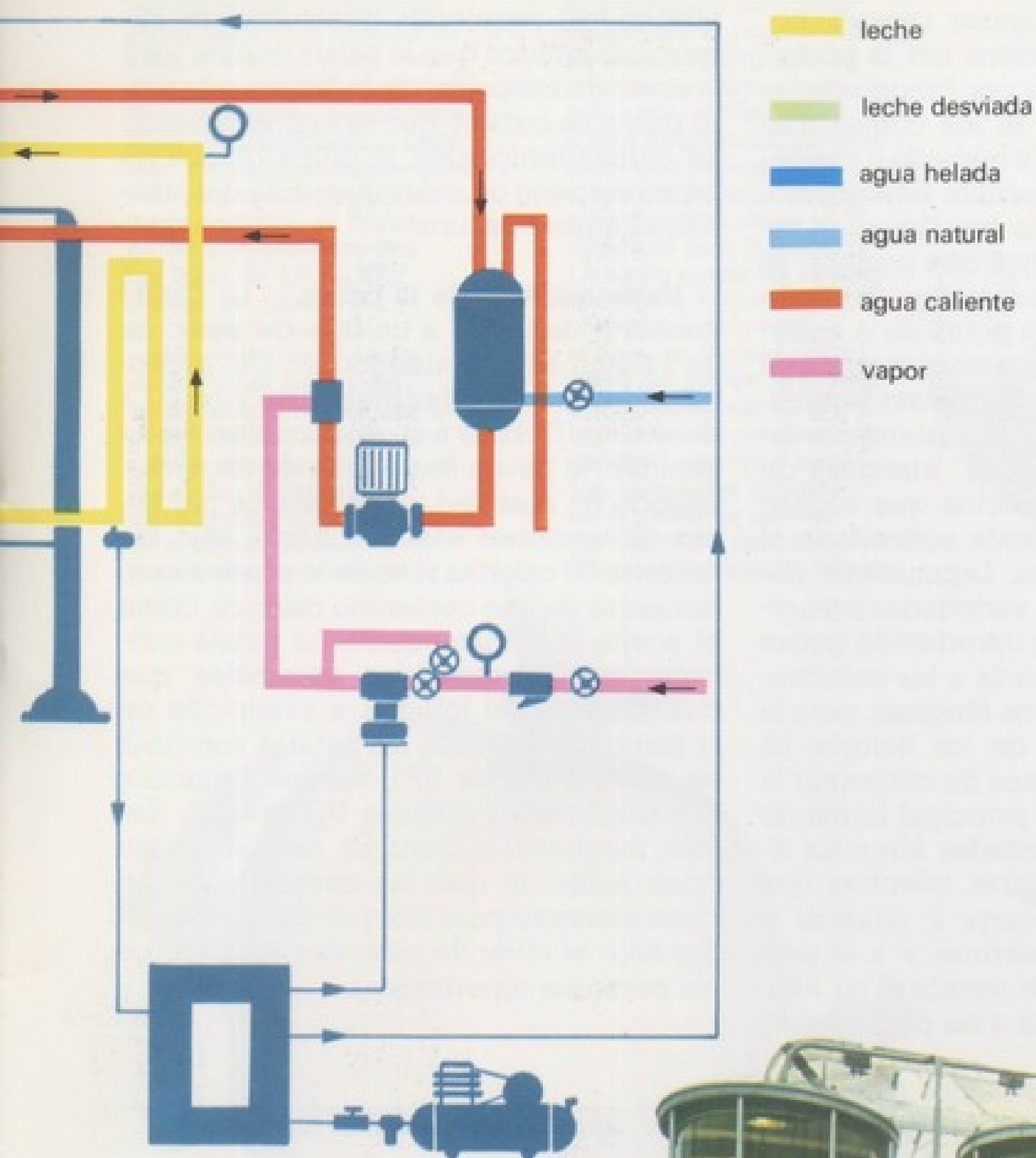
El segundo es el método moderno más utilizado para la pasteurización de la leche y los productos lácteos. Existe otro método de pasteurización, el UHT, o tratamiento por ultracalentamiento. Con dicho sistema se calienta la leche a 137 °C durante dos segundos. Como el UHT también destruye las bacterias que podrían sobrevivir a los métodos LTHT y HTST, el período de conservación que proporciona a los productos lácteos es muy largo, lo que resulta muy útil desde el punto de vista comercial.

Pasteurización de otros alimentos Se definen también con el término pasteurización algunos tratamientos térmicos ligeros utilizados para prolongar la vida de muchos alimentos. Estos tratamientos presentan a veces dificultades ya que la cantidad de calor es difícil de medir y controlar como consecuencia de la naturaleza del alimento en cuestión. Por ejemplo, los huevos se pasteurizan tanto con el método HTST como con el LTLT. De todas formas, si se separa la yema de la clara el tratamiento que hay que aplicar es diferente. Las yemas son fáciles de tratar, pero para mantener intactos el gusto y las características de las claras es necesario añadirles ácido láctico y sales de aluminio. El dióxido de carbono evita el deterioro de los analcohólicos, mientras que las bebidas sin gas no protegidas se pasteurizan juntas, en grandes cantidades, o durante el proceso de embotellado. Los vinos están sujetos al crecimiento de levaduras y de distintas bacterias, tanto

cuando están expuestos al aire como cuando no lo están. Esto se evita mediante la exposición a una temperatura de pasteurización de 62,2 °C durante cerca de un minuto.

La pasteurización por radiación se utiliza también para una gran cantidad de alimentos. En dicho proceso se aplican pequeñas cantidades de rayos beta y gamma a alimentos líquidos y sólidos para obtener el mismo doble efecto que se obtiene con todos los demás procesos de pasteurización: la destrucción de los microorganismos patógenos, junto con el mantenimiento del aspecto y del sabor, unido a una mayor estabilidad cualitativa de los productos sometidos a este proceso.

Véase **Quesera, industria; Vino, fabricación del**



Arriba, esquema de funcionamiento de una instalación de placas formada por cinco elementos intercambiadores de calor, un extractor, un homogeneizador y una central de control de las temperaturas. La leche a tratar entra en el intercambiador a través de un elemento intermedio, es calentada por la leche ya pasteurizada, de camino hacia la salida, aireada y homogeneizada. Después pasa al elemento pasteurizador propiamente dicho donde se eleva su temperatura hasta la de pasteurización; posteriormente vuelve hacia atrás, pasa a través de los dos elementos intermedios donde cede calor a la leche que entra, se vuelve a enfriar nuevamente y se lleva definitivamente a la temperatura de conservación empleando agua helada. Los aparatos representados en el extremo derecho del esquema constituyen la instalación de producción de agua caliente, en este caso formada por un mezclador de agua y vapor. A la derecha, pero debajo, está indicada la central de control de las temperaturas. En la foto a la derecha de estas líneas, un pasteurizador de tubos utilizado para el vermut.

Patata

Durante las grandes travesías oceánicas, los marineros recurrían tradicionalmente a los limones y a las naranjas para combatir el escorbuto; pero tan eficaces como los agrios hubieran sido las patatas, que al ser muy ricas en vitamina C, también previenen dicha enfermedad.

La planta de la patata La patata (*Solanum tuberosum*) es originaria de Sudamérica, y fue introducida en Europa en el siglo XVI.

La reproducción de las patatas (que más exactamente es una *clonación*) se realiza por siembra de tubérculos o fragmentos de éstos, que son las partes engrosadas de los cortos tallos subterráneos (*estolones*); en éstos germinan unas yemas llamadas "ojos", a partir de las cuales se desarrollan las plantas de patata si las condiciones son favorables.

Existen muchas variedades, que se pueden cultivar en los climas más variados y a distintas altitudes. En general, se clasifican en extratempranas, tempranas, de media estación y tardías. La patata es uno de los principales productos alimenticios en muchas partes del mundo. Pero, debido a la reproducción clonal, que da poblaciones muy homogéneas, los cultivos de patatas están muy expuestos a las plagas. Además de las frecuentes virosis, hay otras enfermedades bacterianas, como la podredumbre anular, causada por *Corynebacterium sepedonicum*, la podredumbre parda, causada por *Pseudomonas solanacearum*, propia de los climas más cálidos, la podredumbre húmeda o pie negro, provocada por *Bacillus phytophthorus*, o la seca, producida por *Eusarium solani*. También hay hongos que perjudican a la planta de la patata: el hongo *Phytophthora infestans* provoca el mildiu o enfermedad de la patata por antonomasia, que es la más corriente en los climas templados y húmedos (causó la tristemente famosa "carestía de la patata" irlandesa de 1840). Hay también insectos que causan muchos daños en la patata, sobre todo el escarabajo de la patata, *Leptinotarsa decemlineata*. En muchas variedades comerciales de patata se han introducido genes para reforzar la resistencia a las enfermedades, tanto víricas como fúngicas, pero la variabilidad genética de los hongos ha frustrado muchos intentos de conseguir la inmunidad. Por ello, la principal forma de control de las enfermedades fúngicas sigue siendo los fungicidas, mientras que para las víricas se recurre a arrancar y destruir las plantas enfermas y a la producción de patatas "de siembra" no contaminadas, para sustituir a las poblaciones infectadas.

Las patatas dulces o ñames (grupo de plantas trepadoras tropicales que forman tubérculos) requieren, generalmente, climas más cálidos que la patata común para crecer, a excepción de la batata o boniato, *Ipmocea batatas*, que se cultiva también en climas templados; la pulpa de sus tubérculos tiene un color que varía del amarillo al ámbar oscuro.

Valor nutritivo de la patata La patata contiene de un 78 a un 80% de agua, de un 14 a un 18% de almidón, un 2% de proteínas, un 1% de sales minerales y un 0,1% de grasas. Debido a su gran contenido de almidón, la patata tiene fama de engordar, cuando en realidad una patata de medianas dimensiones asada al horno sólo suministra 60 calorías si no se le añaden condimentos de alto contenido calórico, como el aceite o la mantequilla. La patata contiene más aminoácidos esenciales que cualquier cereal integral, a excepción de la histidina. Además, las patatas son ricas en niacina (factor PP), tiamina (vitamina B_1), riboflavina (vitamina B_2), potasio, fósforo, magnesio y cloro. En cambio tienen poco sodio, lo que las convierte en un buen alimento para los que deben mantener bajo el nivel de este elemento (como las personas hipertensas).

Véase **Alimentación y nutrición; Alimentos**

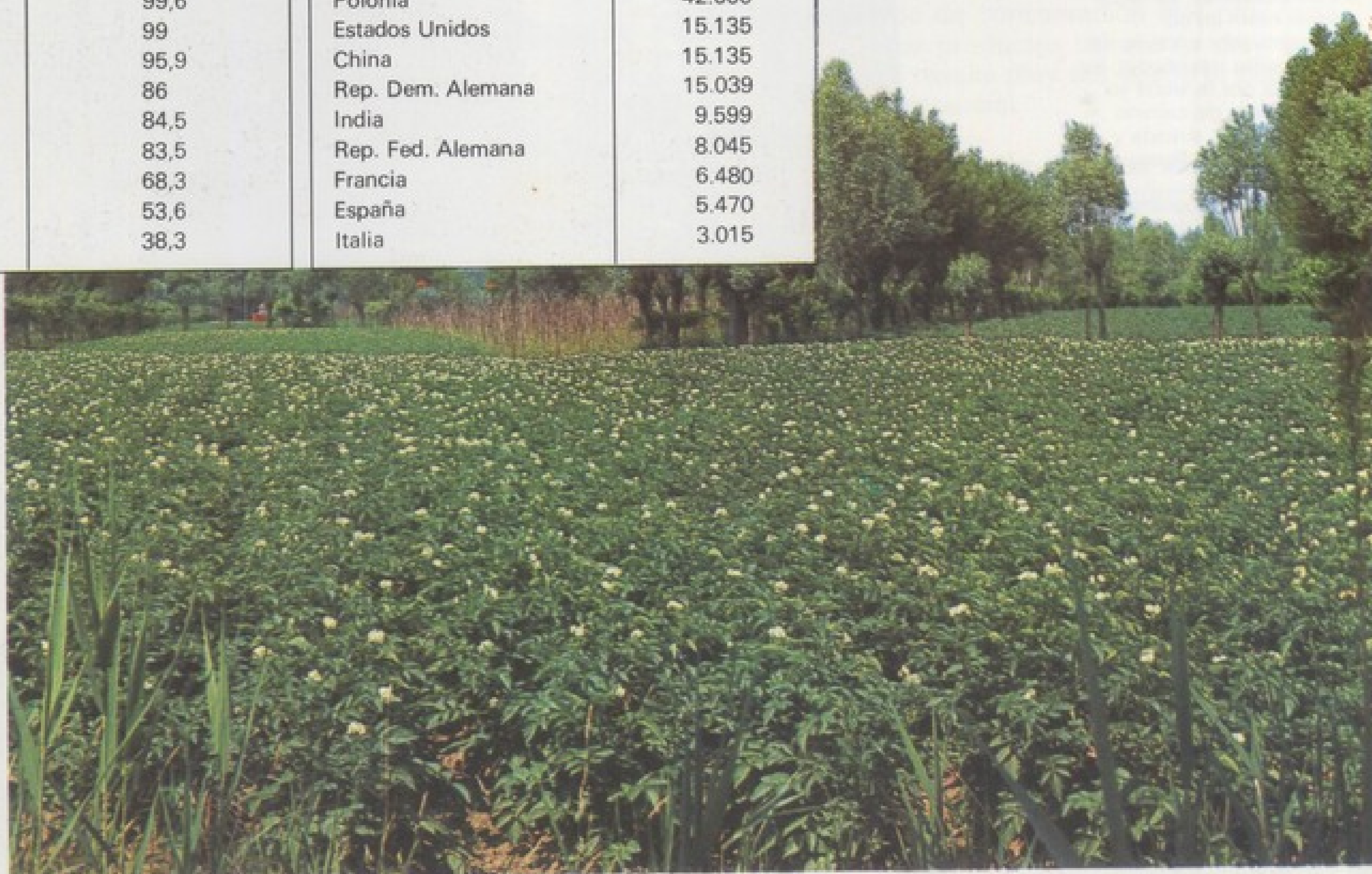
CONSUMO ANUAL DE PATATAS EN DISTINTOS PAISES (media por habitante)

País	Patatas (en kg)
España	109,7
Irlanda	99,6
Reino Unido	99
Bélgica y Luxemburgo	95,9
Rep. Federal Alemana	86
Francia	84,5
Países Bajos	83,5
Dinamarca	68,3
Estados Unidos	53,6
Italia	38,3

LOS MAYORES PRODUCTORES (1981)

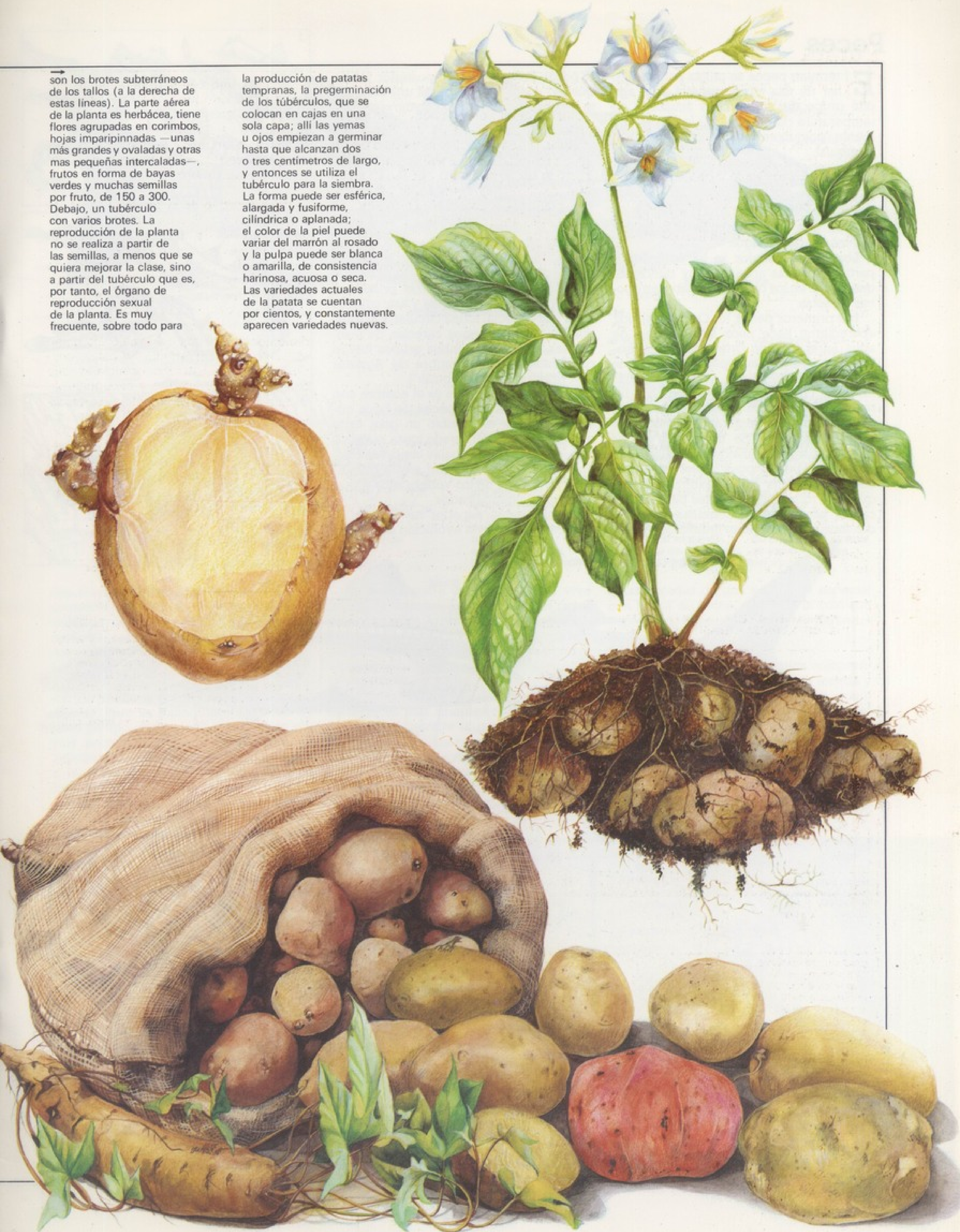
País	Producción de patatas en miles de toneladas
URSS	82.000
Polonia	42.600
Estados Unidos	15.135
China	15.135
Rep. Dem. Alemana	15.039
India	9.599
Rep. Fed. Alemana	8.045
Francia	6.480
España	5.470
Italia	3.015

Fuentes: Quid 1983; Laffont, París; y Anuario de Estadística Agraria 1982 del Mº de Agricultura, Madrid.



La patata, que es un producto de orígenes antiquísimos, tardó bastante tiempo en implantarse en la vieja Europa, donde al principio la gente se limitaba a usarla como fécula para cataplasmas. Sin embargo, Luis XIV, el Rey Sol, la apreciaba mucho y la incluía en todas las comidas, mientras que los cortesanos solían llevar una flor de patata en el ojal. Hoy día, como se puede ver en la tabla, la patata se cultiva sobre todo en las zonas central y septentrional de Europa y en Estados Unidos. En España la mayor producción corresponde a Galicia y al norte de Castilla. Abajo, vemos un patatal en plena floración. El terreno más adecuado para el cultivo de *Solanum tuberosum* debe ser suelto, ligero, bien abonado y arado profundamente para que la planta pueda extender sus raíces. La parte comestible es el tubérculo, un engrosamiento apical de los estolones que →

→ son los brotes subterráneos de los tallos (a la derecha de estas líneas). La parte aérea de la planta es herbácea, tiene flores agrupadas en corimbos, hojas imparipinnadas —unas más grandes y ovaladas y otras mas pequeñas intercaladas—, frutos en forma de bayas verdes y muchas semillas por fruto, de 150 a 300. Debajo, un tubérculo con varios brotes. La reproducción de la planta no se realiza a partir de las semillas, a menos que se quiera mejorar la clase, sino a partir del tubérculo que es, por tanto, el órgano de reproducción sexual de la planta. Es muy frecuente, sobre todo para la producción de patatas tempranas, la pregerminación de los túbérculos, que se colocan en cajas en una sola capa; allí las yemas u ojos empiezan a germinar hasta que alcanzan dos o tres centímetros de largo, y entonces se utiliza el tubérculo para la siembra. La forma puede ser esférica, alargada y fusiforme, cilíndrica o aplanada; el color de la piel puede variar del marrón al rosado y la pulpa puede ser blanca o amarilla, de consistencia harinosa, acuosa o seca. Las variedades actuales de la patata se cuentan por cientos, y constantemente aparecen variedades nuevas.



Peces

El término peces se utiliza para designar de una forma general a un amplio grupo de vertebrados acuáticos de temperatura corporal variable con el ambiente (poiquilotermos) y con respiración branquial.

Los peces constituyen el grupo de vertebrados más numeroso y con mayor variedad morfológica y ecológica. Se conocen alrededor de unas 40.000 especies vivientes, que se encuentran distribuidas por mares, ríos y lagos.

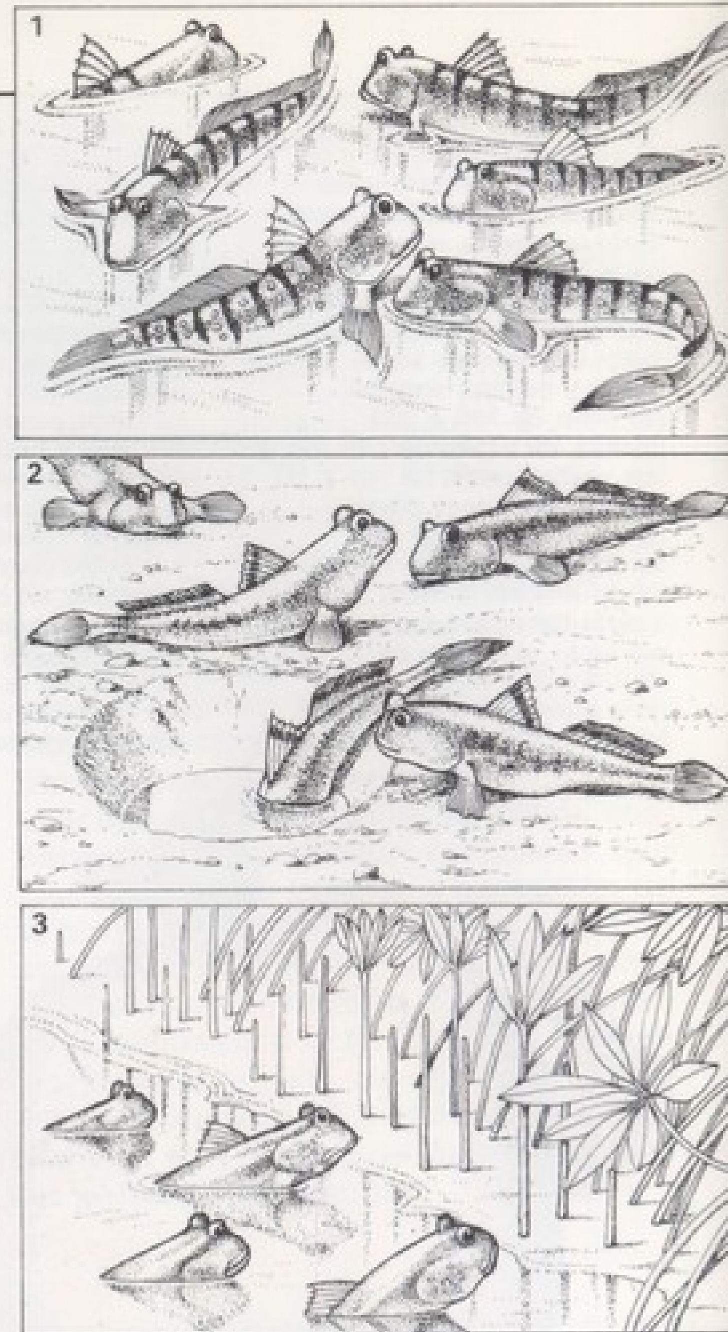
Los peces actuales se ha originado a partir de formas arcaicas muy diferentes que vivían en los océanos y mares en épocas remotas.

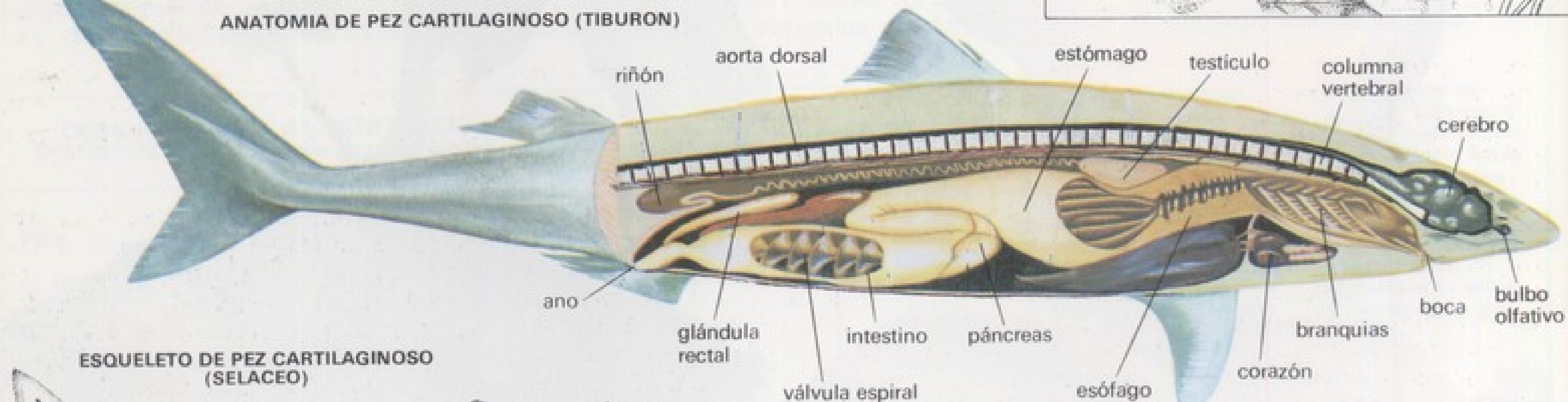
Los primeros peces, los *Ostracodermos,* aparecieron hace unos 430 millones de años, en el período Ordoviciense. Probablemente, según la hipótesis defendida por muchos científicos, vivían en aguas salobres, como las de las desembocaduras de los ríos, y en aguas dulces, y sólo más adelante se aventuraron en las aguas saladas oceánicas. Se trataba de peces con una estructura anatómica análoga a la de los artrópodos, pues la piel estaba recubierta por una coraza externa (exoesqueleto), formada por fuertes placas o escamas, producciones dérmicas de variadas formas que estaban imbricadas y con el borde libre en la parte posterior. Un esqueleto como ese constituía una excelente defensa, pero les impedía moverse con agilidad dentro del agua. Además, implicaba un desarrollo a base de mudas, procesos delicados que dejaban al animal indefenso a veces durante varios días, siendo presa fácil de los grandes crustáceos que vivían en el mismo ambiente. Hoy día sólo quedan restos fósiles de estos peces.

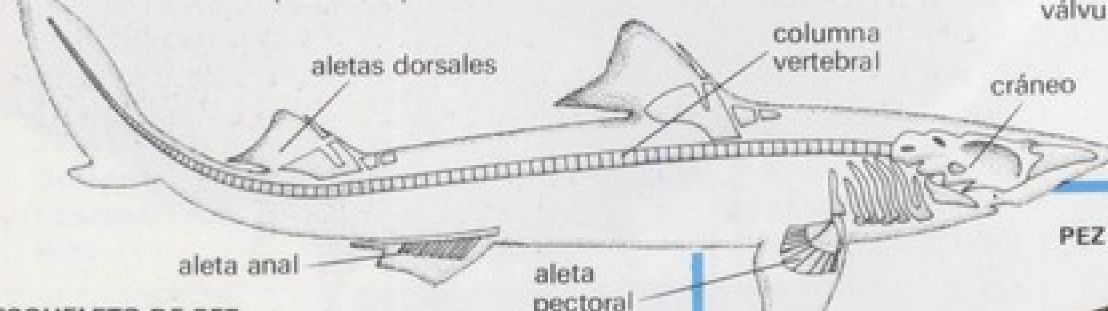
Casi al mismo tiempo que los Ostracodermos aparecieron otros peces, que carecían de coraza, y en cambio tenían un esqueleto interno (endoesqueleto) de tipo cartilaginoso y con vértebras primitivas. Su piel era desnuda, blanda y lisa; su boca tenía una especial forma circular, y al igual que los Ostracodermos, carecían de mandíbulas, por lo que ambos grupos fueron clasificados con el nombre de *Agnatos* (del griego: "sin mandíbulas").

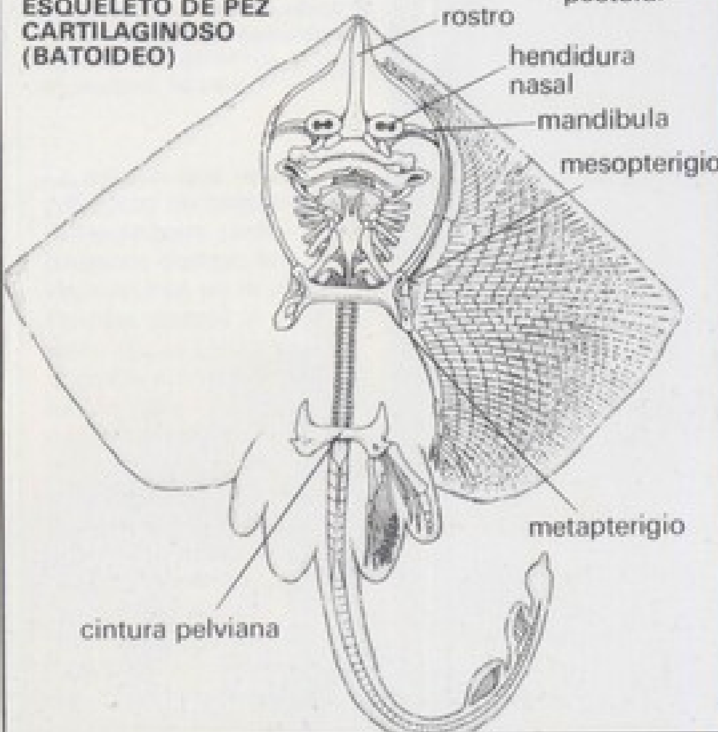
Los *Ciclóstomos,* que es el nombre con que se designa a los peces de boca circular, tuvieron en cambio un gran éxito evolutivo y han perdurado hasta nuestros días; en efecto, las actuales lampreas (marinas o de río) pertenecen a este primitivo grupo, y son de los vertebrados actuales menos evolucionados.

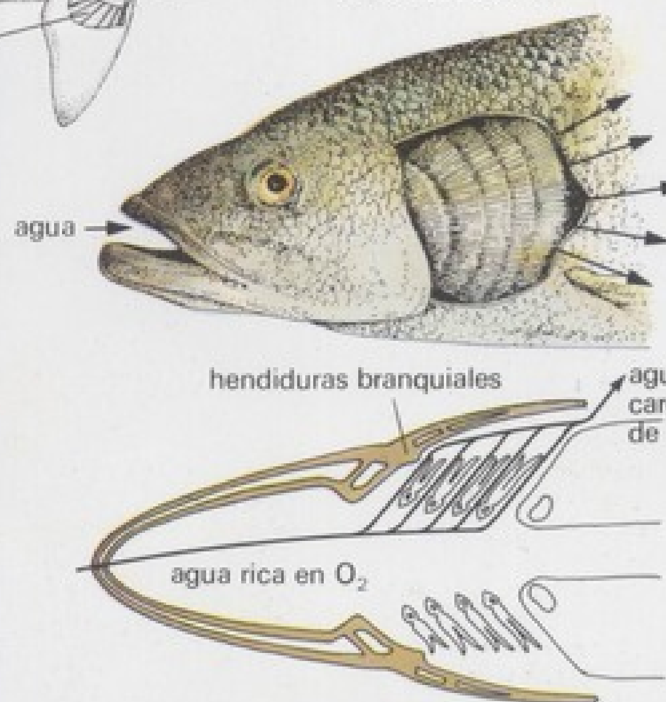
En el Silúrico superior tuvo lugar un avance notable en la evolución de los pe-

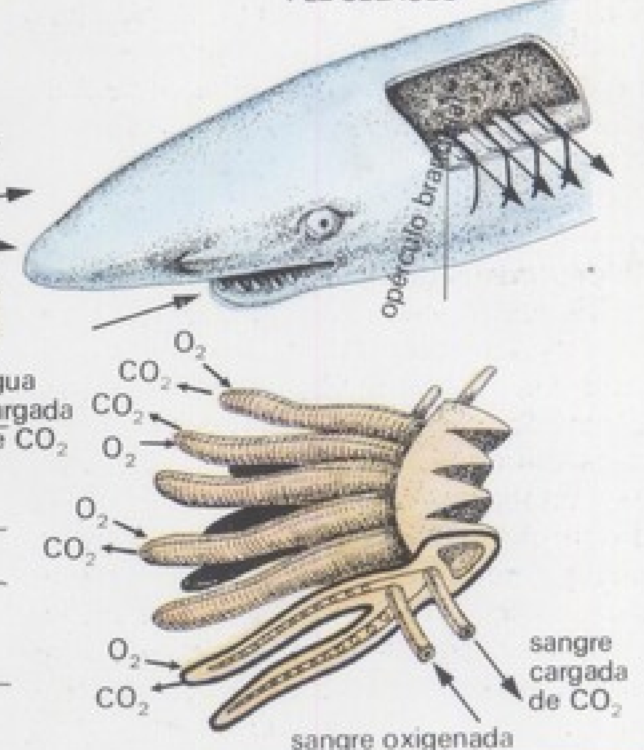




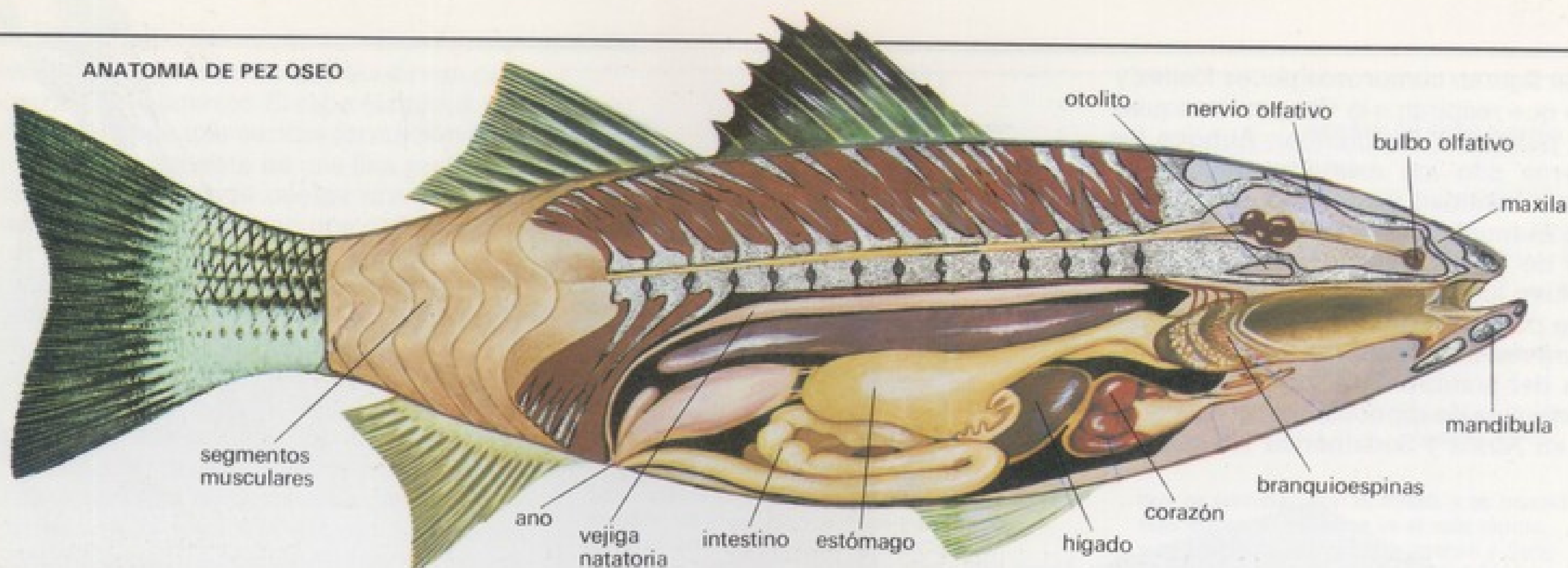


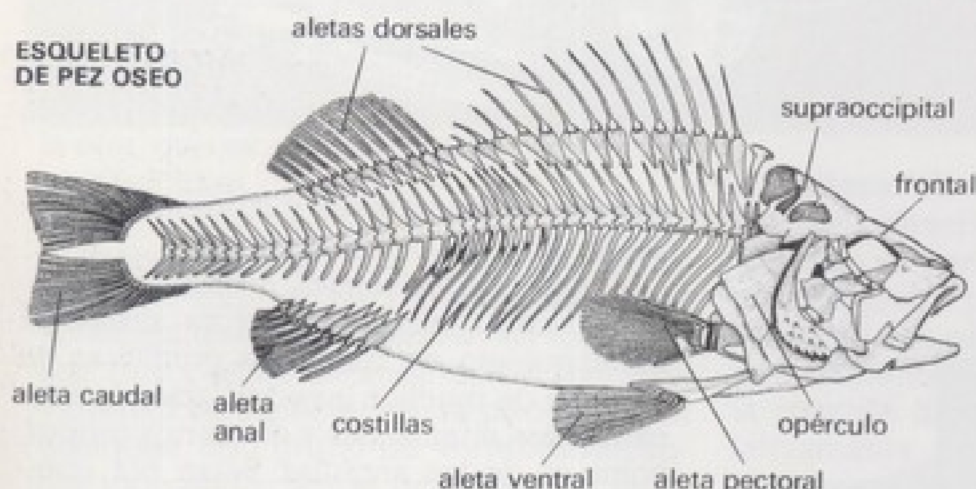






INTERCAMBIOS GASEOSOS (RESPIRACION)





Los peces cartilaginosos se distinguen de los óseos por una serie de caracteres externos a los que corresponden importantes características internas, que se pueden observar al efectuar la disección. En los peces cartilaginosos existe una estructura esquelética de arcos de cartílago a la altura de las hendiduras branquiales; la conexión entre las branquias y el corazón es eficaz, gracias a un grueso vaso que conduce desde las branquias la sangre destinada a los intercambios respiratorios. En la cavidad abdominal se encuentra el aparato digestivo, formado por un tubo con sus glándulas anejas, el aparato reproductor y el excretor. Las principales características de los peces óseos residen en las aletas, el esqueleto y una serie de elementos alargados, conectados con la columna vertebral. A cada uno de estos elementos (que se repiten regularmente por todo el cuerpo) le corresponde un segmento muscular. La vejiga natatoria y el órgano de la línea lateral completan estas auténticas máquinas de nadar que son los peces óseos, muy especializados y versátiles. Su predominio es total en todos los mares del mundo.

ces, al aparecer estructuras maxilares propiamente dichas a partir de una de las estructuras óseas que antaño servían para sostener las branquias (órganos respiratorios de los peces). Estas mandíbulas estaban insertadas en el cráneo.

Los Placodermos, también fósiles, fueron los primeros peces provistos de mandíbulas. Pero se extinguieron al cabo de poco tiempo, ya que tenían caracteres aún muy primitivos, como la coraza, que les impidieron competir ventajosamente con el resto de los peces que poco a poco se iban adentrando en los océanos.

Entre los Placodermos es digno de resaltar el *Dinichthys*, un pez de aspecto terrorífico y grandes dimensiones, pues alcanzaba los 9 metros de longitud.

Casi todos los peces actuales descienden de antepasados que aparecieron hace unos 330 millones de años, y se subdividen en dos grandes clases: peces cartilaginosos o *Condrictios* y peces óseos u *Osteictios*.

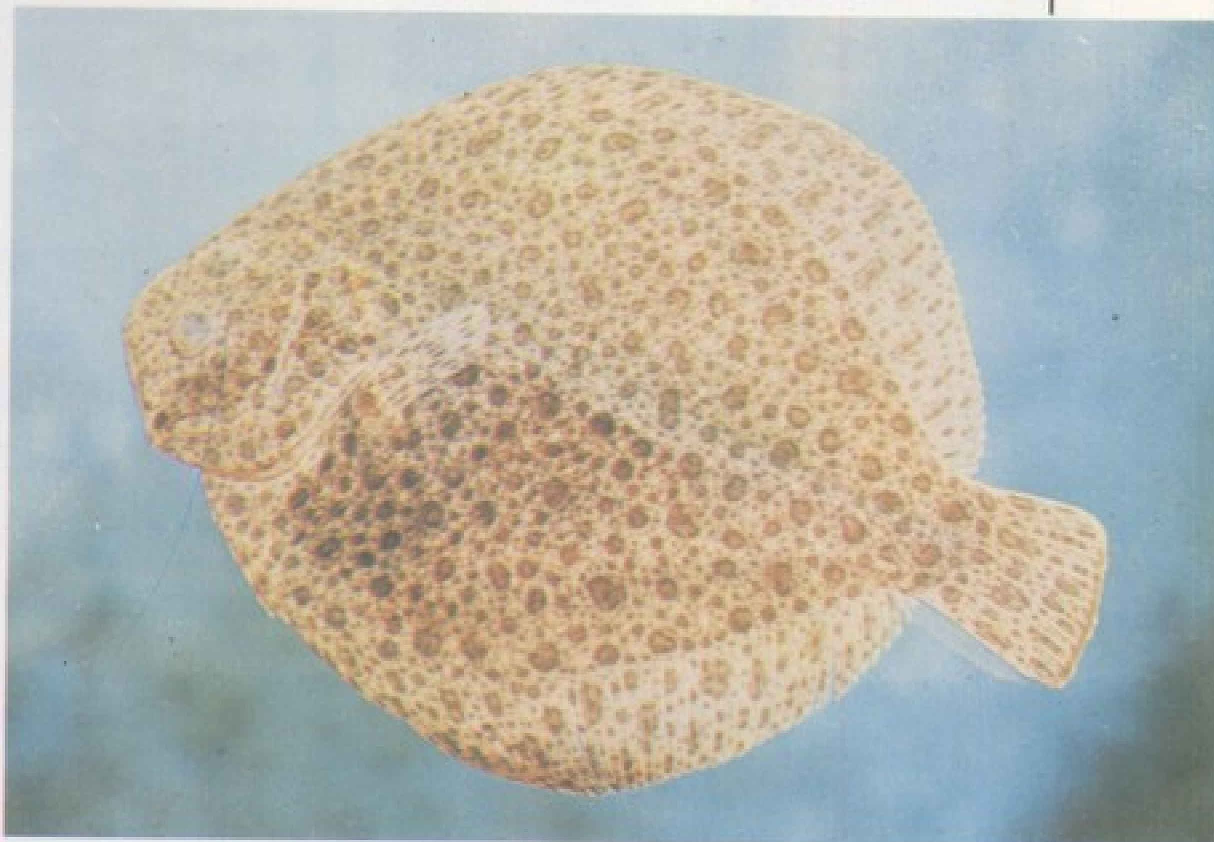
Peces cartilaginosos La clase de los Condrictios, aunque de origen más reciente, posee una estructura más primitiva que las de los peces óseos: el esqueleto está formado exclusivamente por tejido cartilaginoso, parecido al de las lampreas, aunque en este caso las vértebras son completas y están separadas entre sí. El cuerpo está cubierto de pequeñas placas dérmicas y tiene una forma hidrodinámica perfectamente adaptada para la natación. Los tiburones, las rayas, las mantas y los torpedos pertenecen a esta clase, que comprende unas 620 especies.

La mayor parte de los tiburones vive en aguas abiertas, mientras que las rayas y los torpedos viven en el fondo oceánico y se alimentan de moluscos y otros animales sedentarios; las mantas, que pueden alcanzar grandes dimensiones, nadan en la superficie.

En contra de lo que se suele pensar, los ejemplares más grandes no son peligrosos para el hombre ni para los otros peces, ya que se alimentan de plancton y de pequeños animales marinos. El tiburón ballena, que alcanza una longitud de 18 m, el marrajo gigante y la manta gigante, cuya "envergadura" es de 6 m, poseen branquias dotadas de una estructura especial con forma de peine, gracias a la cual son capaces de capturar el alimento filtrándolo del agua.

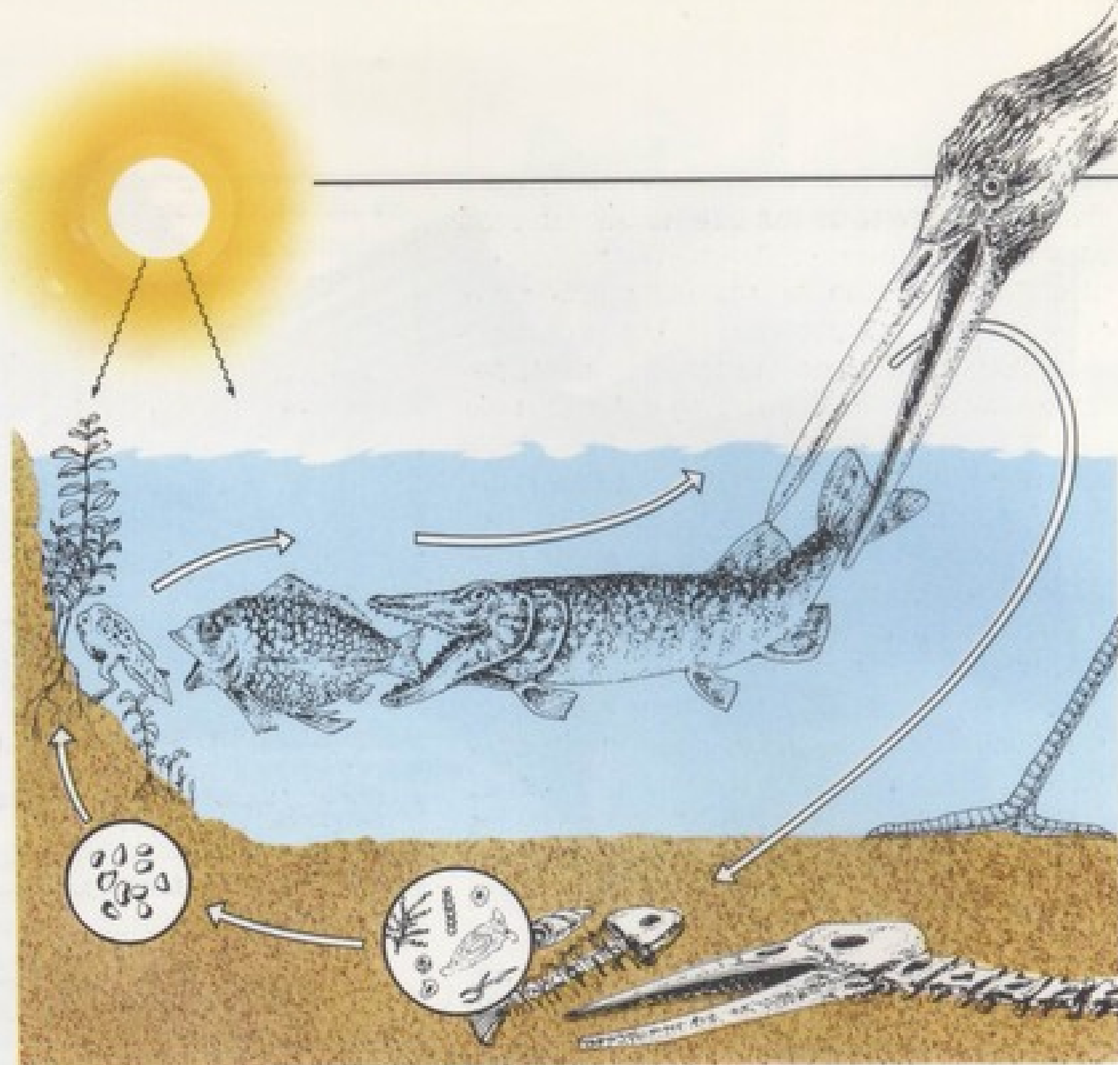
Peces óseos Los Osteictios comprenden varios miles de especies de formas y tamaños muy variados, desde el gobio pigmeo, un pez de Filipinas que mide sólo 10 mm de largo, hasta el enorme pez luna (*Mola mola*) de aguas tropicales, que puede llegar a los 900 kg de peso.

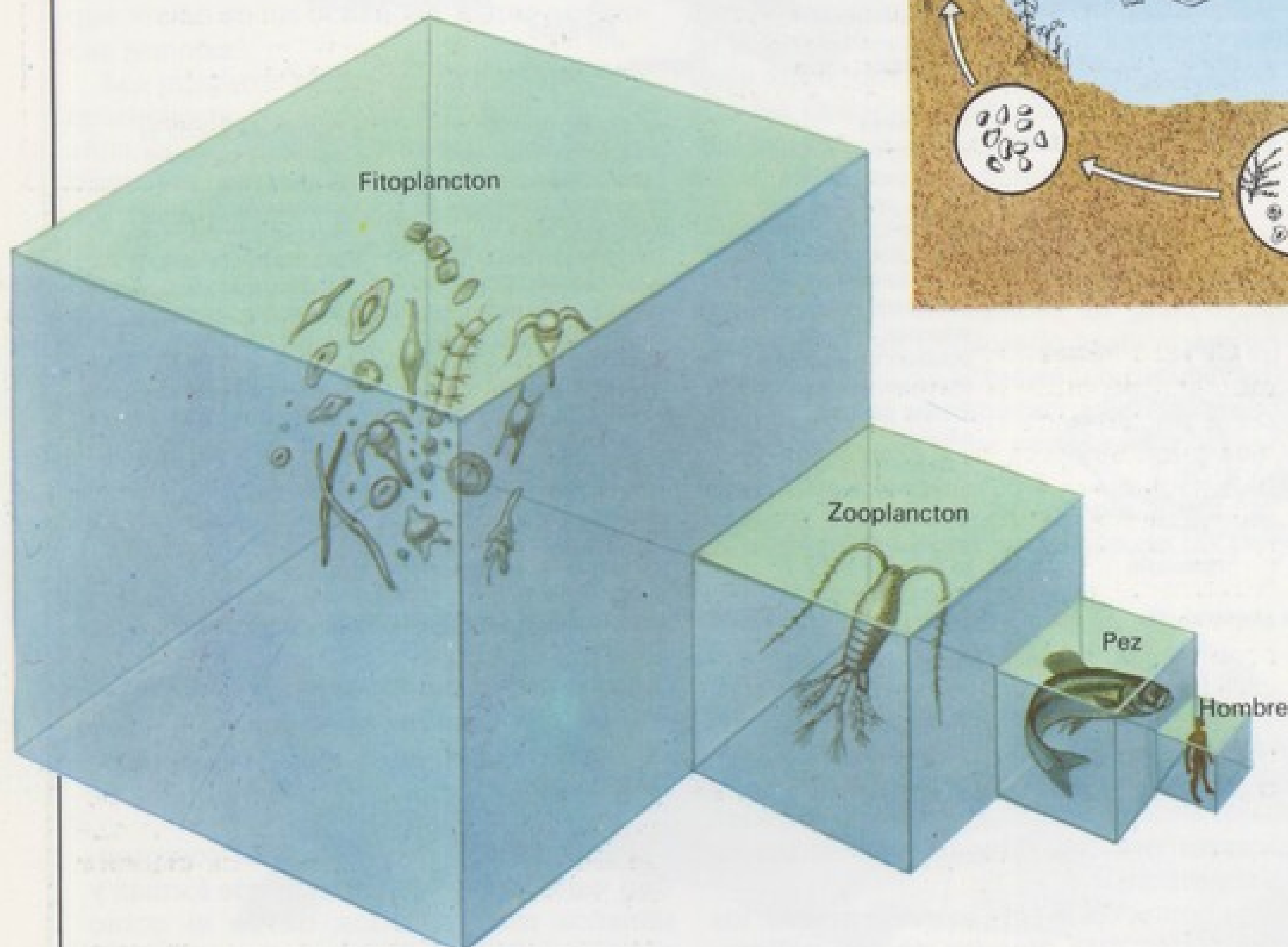
Se dividen en dos subgrupos: los *Actinopterigios*, entre los que están los peces más comunes, y los *Crosopterigios*, entre



En la página anterior, arriba, los peces saltarines del fango (*Periophthalmus*), típicos habitantes de los manglares. Pueden estar fuera del agua, ya que respiran a través de la piel gracias a unas papilas muy vascularizadas que realizan el intercambio gaseoso. Su adaptación al medio terrestre se completa con la forma especial de sus aletas pectorales, que les permiten andar a saltitos entre las ramas. A la derecha, otro ejemplo de adaptación: la pigmentación de un solo lado del rémol (*Scophthalmus rhombus*) y la migración de los ojos. Vive en fondos marinos poco profundos.

los que figuran numerosos peces fósiles y peces que respiran a la vez por branquias y por pulmones, los *dipnoos*. Aunque los primeros son los más importantes en cuanto a cantidad y variedad, el segundo grupo es mucho más interesante desde el punto de vista científico, porque a partir de él tuvo lugar la conquista del medio terrestre por parte de los anfibios, los reptiles, las aves, los mamíferos, y en última instancia del hombre. Todavía existen algunas especies de dipnoos, una en Australia, otras en Africa y Sudamérica. No resisten mucho tiempo fuera del agua, pero algunos de ellos pueden sobrevivir sepultados en el fango durante los períodos de sequía, e incluso la especie descubierta en Australia es capaz de subir a los árboles.





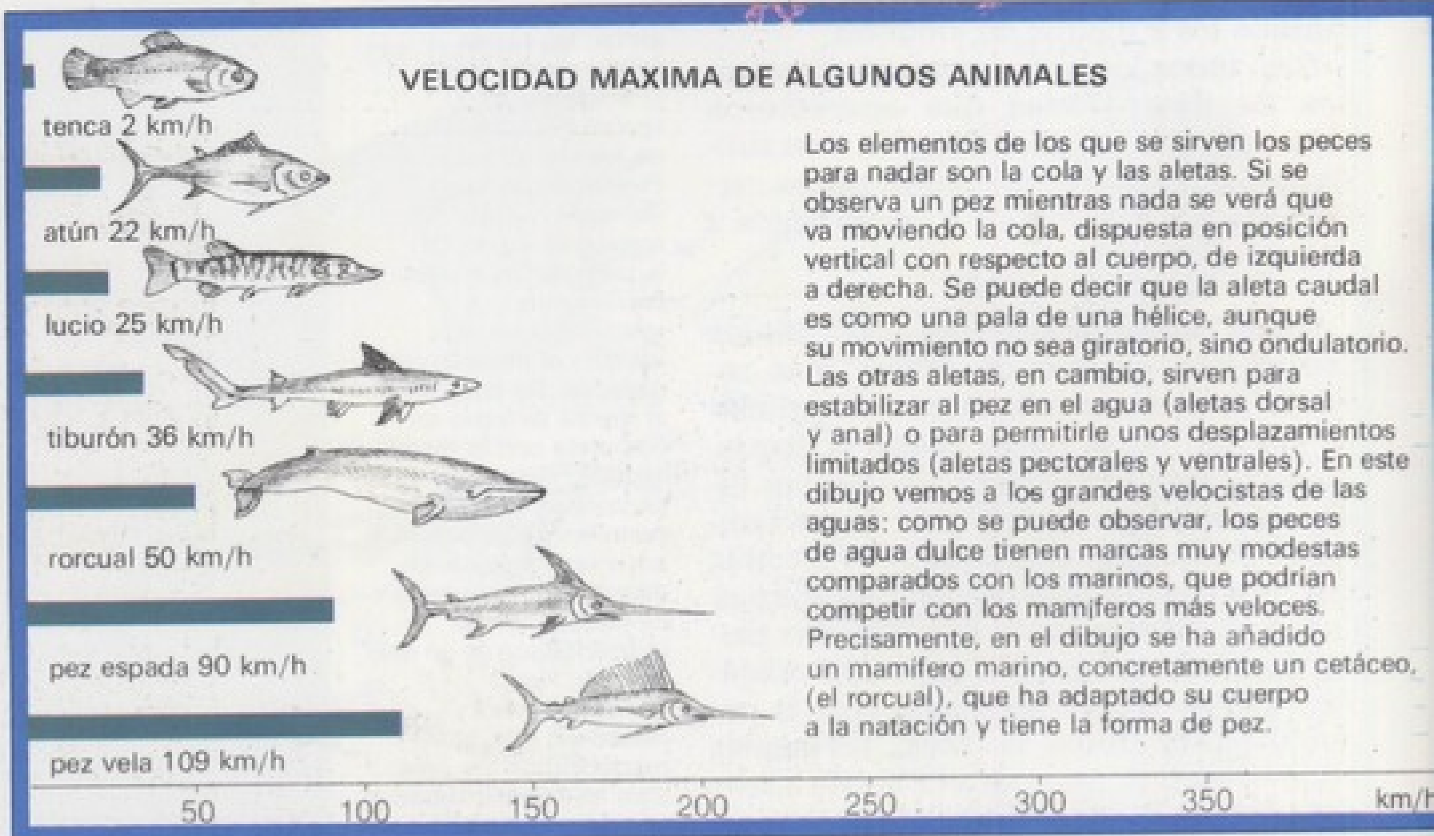
Arriba, a la derecha, cadena alimentaria con los productores y los consumidores. El equilibrio ecológico pasa por todos los eslabones de esta cadena. Se puede analizar la cadena alimentaria en términos de transferencia de energía (arriba a la derecha y sobre estas líneas). El fitoplancton fija una determinada cantidad de energía solar por medio de la fotosíntesis clorofílica; los organismos que se alimentan de él (zooplancton y peces) reciben parte de esa energía, y la utilizan para crecer y para su actividad vital. Y es precisamente este gasto de energía lo que hace que cada eslabón sucesivo de la cadena alimentaria aproveche cada vez menos (en cada paso se produce una reducción del 90%).

Otro grupo de Crosopterigios son los celacantos, que se creían extinguidos hasta que, en diciembre de 1938, se capturó uno en la costa occidental africana. Hoy estos peces están protegidos por la ley. Se conocen ejemplares que alcanzan un peso de más de 90 kg y una longitud de más de metro y medio.

El endoesqueleto de los peces óseos consiste en una serie articulada de vértebras óseas que forman la columna vertebral, que une el cráneo con la aleta caudal. Cada una de las vértebras está conectada a finos huesos de tipo costiforme (costillas). Existen además huesos interespinales, dispuestos entre las espinas vertebrales, que sostienen y sirven de articulación a las aletas dorsal y anal.

La piel está revestida de escamas dérmicas, con función protectora similar al exoesqueleto de las clases primitivas de peces y de muchos invertebrados. Las escamas son minúsculas y en ciertos grupos, como el de las anguilas, faltan por completo. Cada grupo de peces posee escamas de diferentes tipos y formas, gracias a las cuales se puede establecer un método para clasificar los fósiles. Las escamas están recubiertas por una fina capa epidérmica que contiene los pigmentos responsables de los distintos colores. Además, las células de esta capa segregan un líquido viscoso (*mucus*) que lubrifica toda la superficie del pez, reduciendo el rozamiento con el agua. Los colores son muy variados, y son especialmente brillantes en los peces tropicales de los arrecifes de coral.

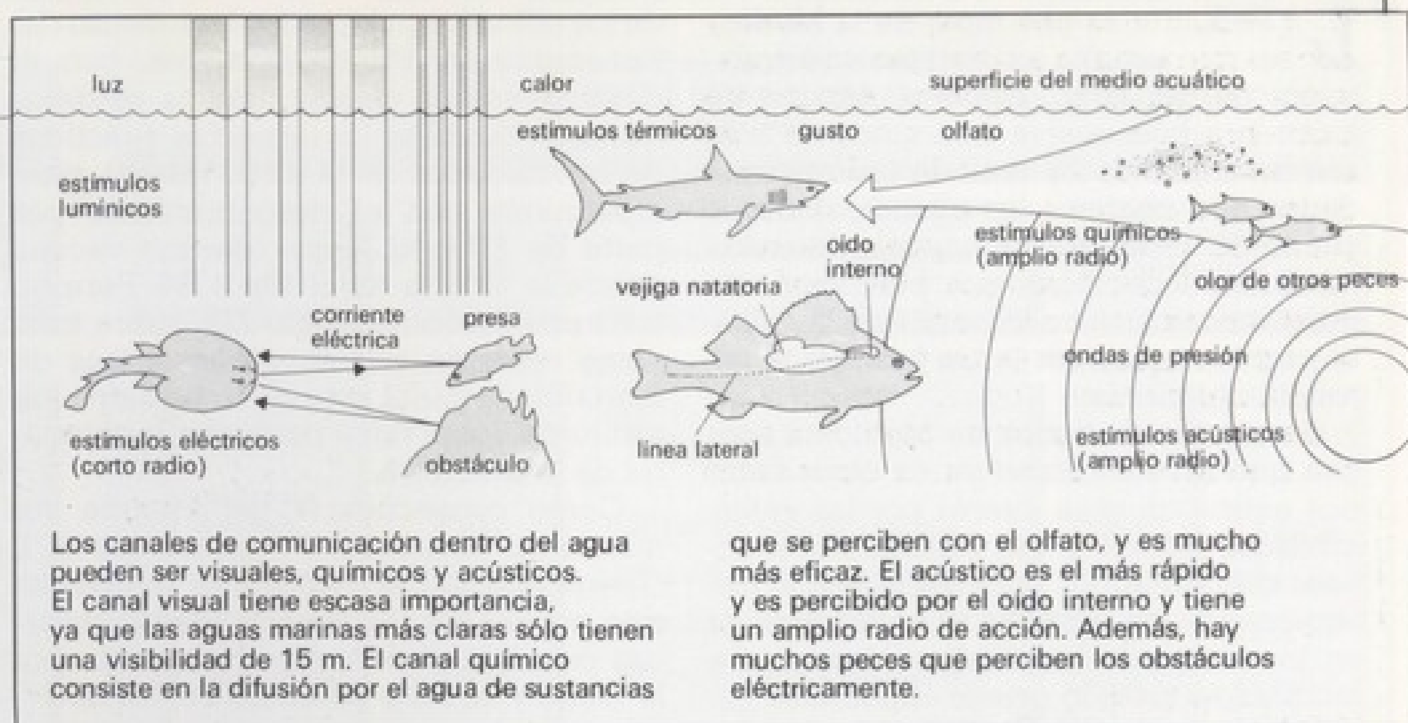
La capacidad de adaptación de los peces es enorme, gracias a una extraordinaria gama de especiales dispositivos ana-



Los elementos de los que se sirven los peces para nadar son la cola y las aletas. Si se observa un pez mientras nada se verá que va moviendo la cola, dispuesta en posición vertical con respecto al cuerpo, de izquierda a derecha. Se puede decir que la aleta caudal es como una pala de una hélice, aunque su movimiento no sea giratorio, sino ondulatorio. Las otras aletas, en cambio, sirven para estabilizar al pez en el agua (aletas dorsal y anal) o para permitirle unos desplazamientos limitados (aletas pectorales y ventrales). En este dibujo vemos a los grandes velocistas de las aguas: como se puede observar, los peces de agua dulce tienen marcas muy modestas comparados con los marinos, que podrían competir con los mamíferos más veloces. Precisamente, en el dibujo se ha añadido un mamífero marino, concretamente un cetáceo, (el rorcual), que ha adaptado su cuerpo a la natación y tiene la forma de pez.

tómicos, sobre todo los que les sirven para capturar el alimento. El rape (*Lophius piscatorius*) tiene una curiosa formación en la cabeza que consiste en una fina prolongación ósea de la que cuelga una protuberancia carnosa. Es como una caña de pescar con su cebo, situada delante de su enorme boca, que se cierra con una velocidad pasmosa cuando se acerca su presa. Algunos peces que viven en las profundidades marinas poseen órganos luminosos (fosforescentes) que atraen a sus presas o a sus semejantes.

Los peces planos, como la platija, muestran durante su desarrollo un cambio muy curioso de la posición del ojo. Los peces jóvenes viven en la superficie y tienen los ojos a ambos lados de la cabeza, pero luego adquieren la costumbre de los adultos de vivir pegados al fondo, y entonces el ojo izquierdo se desplaza gradualmente hacia la parte derecha, que adquiere una coloración mimética parda, mientras que la otra, que se apoya en la arena, se vuelve blancuzca.

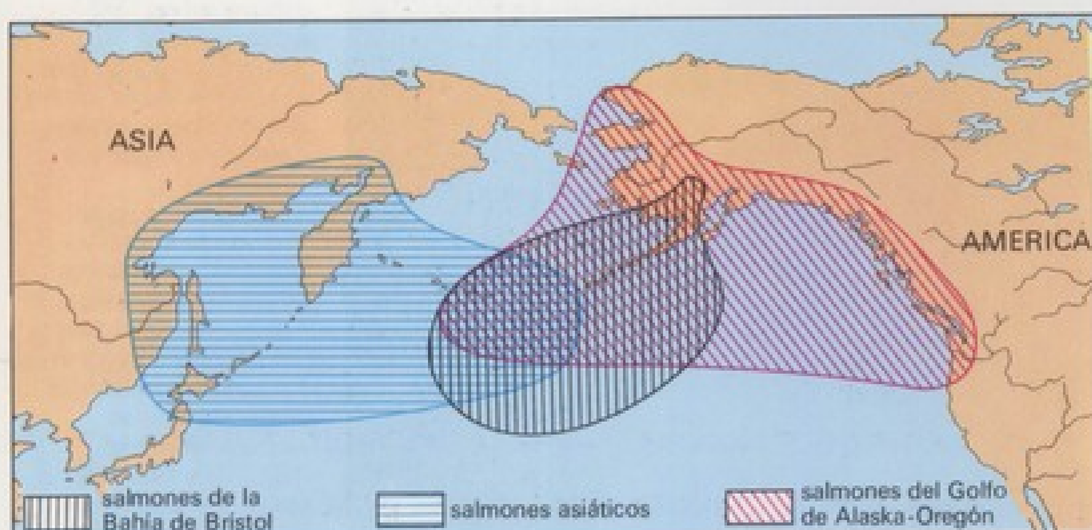


Los canales de comunicación dentro del agua pueden ser visuales, químicos y acústicos. El canal visual tiene escasa importancia, ya que las aguas marinas más claras sólo tienen una visibilidad de 15 m. El canal químico consiste en la difusión por el agua de sustancias que se perciben con el olfato, y es mucho más eficaz. El acústico es el más rápido y es percibido por el oído interno y tiene un amplio radio de acción. Además, hay muchos peces que perciben los obstáculos eléctricamente.

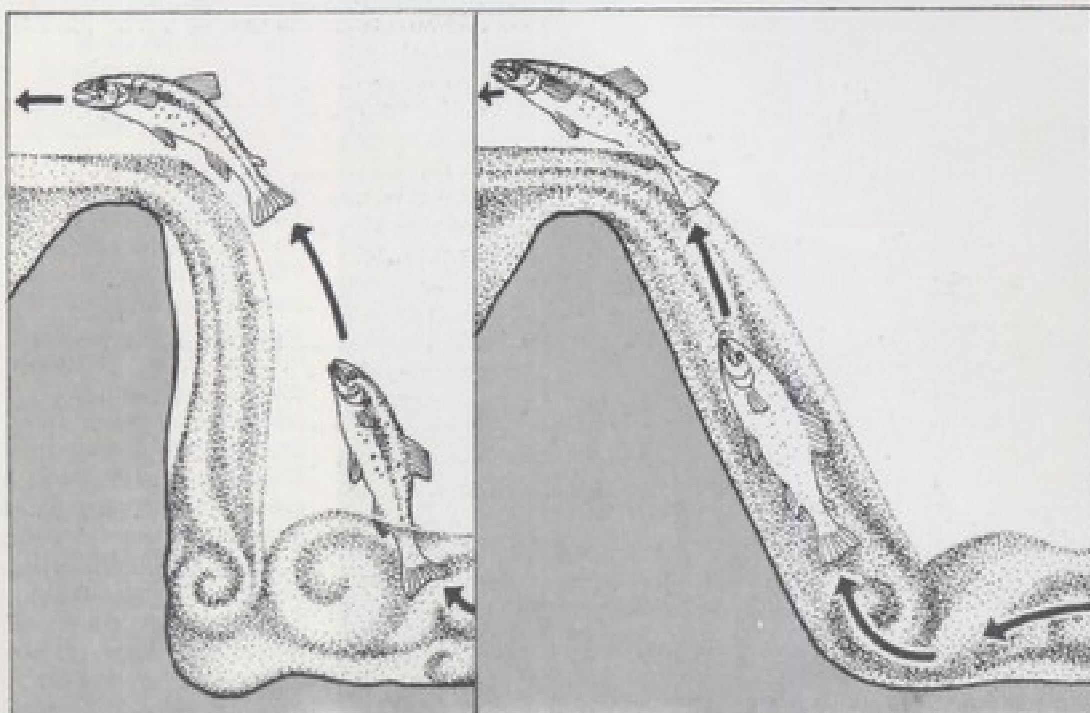
Peces actuales En la actualidad se conocen unas 40.000 especies de peces vivientes que se encuentran en los océanos, ríos y lagos de agua dulce. Hay más variedad de especies en los peces que en cualquier otro grupo de vertebrados, sobre todo en las aguas tropicales. Se cumple así una de las leyes ecológicas: en el trópico el número de especies es elevado, pero las poblaciones están formadas por pocos individuos, mientras que en latitudes superiores sucede todo lo contrario. Esta regla no es válida sólo para los peces, sino para el resto de animales y plantas.

Cadena alimentaria La cadena alimentaria describe la forma en que un organismo depende de otro, generalmente más pequeño, para su alimentación. También se llama pirámide alimentaria, ya que para alimentar a los individuos situados en la cúspide de esta pirámide, que son relativamente pocos, tiene que haber muchos en su base. En el medio acuático los productores primarios (el principio de la cadena) son las algas fotosintéticas, que a veces reciben el nombre de pastos marinos. A medida que se sube hacia la cúspide de la pirámide alimentaria, aumentan las dimensiones de los organismos y disminuye su número. Los peces más pequeños son capturados por los más grandes, y así sucesivamente. La alteración de este sistema gradual puede tener efectos muy negativos. Una pequeña cantidad de contaminación industrial, muy diluida y prácticamente inocua (por ejemplo, mercurio), puede llegar a formar parte de los organismos unicelulares que están en la base de la cadena alimentaria. Cada paso sucesivo puede implicar un aumento de la concentración de sustancias nocivas, hasta llegar al nivel de los depredadores más grandes, como el pez espada, en el que la concentración de estos venenos puede ser altamente nociva. Este tipo de contaminación sólo tiene lugar cuando los peces son carnívoros, ya que hay otros que se alimentan exclusivamente de plancton o plantas acuáticas.

Véase **Ecología; Plancton; Vertebrados**



En el mapa se representa el viaje de los salmones para el desove, desde los océanos hasta los ríos de agua dulce. Cuando han llegado, preparan el nido en un hoyo y los machos fecundan los huevos de las hembras. Después mueren víctimas del agotamiento. Las crías vuelven a las aguas marinas, y repetirán el itinerario de sus antecesores. Se trata de uno de los frecuentes fenómenos migratorios de los animales marinos.





Pediatría

La Pediatría es una rama de la Medicina que estudia los problemas fisiopatológicos del niño, desde el nacimiento hasta la adolescencia. Los niños no sólo son susceptibles de contraer las enfermedades que afectan a los adultos, sino que también pueden sufrir una serie de enfermedades específicas, que prácticamente permanecen circunscritas al ámbito infantil, como pueden ser la tos ferina y la parotiditis (paperas).

Se conservan textos de Medicina antigua que revelan cómo ya en otros tiempos existía un gran interés por las enfermedades infantiles. Las enseñanzas prácticas concernientes principalmente al tratamiento de los lactantes se encuentran ya en los textos de los médicos egipcios e hindúes; el médico griego Hipócrates escribió varios tratados dedicados exclusivamente al tratamiento y cuidado de los niños. Sin embargo, durante toda la Antigüedad, el arte de curar a los niños fue prácticamente desconocido y la mortalidad infantil permaneció en niveles muy altos. La elevada mortalidad infantil comenzó a preocupar a los médicos en la era cristiana, momento en que el reencuentro con los puntos de vista ético-religiosos condujo al justo reconocimiento del niño como individuo y a la compasión por sus sufrimientos, lo cual se tradujo, por una parte, en la creación de entes asistenciales para la infancia abandonada y, por otra parte, en el estudio de las enfermedades infantiles. El primer manual sobre la salud de los niños fue publicado al comienzo del Renacimiento. Progresivamente, con el desarrollo de la ciencia médica, se desarrollaron también los aspectos prácticos de los cuidados de la salud infantil, principalmente con el descubrimiento por parte de Edward Jenner de una vacuna contra la viruela en el año 1796. Pero no fue hasta finales del siglo XIX, sobre todo como reacción a la elevadísima tasa de mortalidad infantil, cuando la Pediatría fue instituida como rama particular y necesaria de la Medicina.

Como consecuencia del enorme aumento de la natalidad después de la II Guerra Mundial, la pediatría se ha convertido en una de las especialidades médicas con más rápido desarrollo, tanto por la lucha y el éxito obtenido contra determinadas afecciones como por el auge imprimido a la investigación.

Funciones de la Pediatría El pediatra se ocupa también de los problemas de puericultura relacionados con la nutrición, el crecimiento, la higiene física y mental, etc. del lactante (primer año de vida); de manera que gran parte de su tiempo está dedicado a los niños sanos y normales (a diferencia de la mayor parte de los médicos que se ocupan sobre todo de las personas enfermas).

El pediatra controla todas las fases del desarrollo del niño y recomienda a la madre visitas de control periódicas. En este sentido, una función importante es la administración de las vacunas. Con el transcurso de los años se ha descubierto que las vacunas pueden prevenir muchas enfermedades mortales de la infancia. La mayor parte de los niños se encuentra ahora inmunizada contra la difteria, la tos ferina, el tétanos y la poliomielitis; también el sarampión está desapareciendo rápidamente. Incluso el raquitismo, una de las enfermedades infantiles más debilitantes, está llegando a ser cada vez más raro gracias a una alimentación sana y racional.

Además del mantenimiento de la salud, el pediatra se ocupa del diagnóstico y tratamiento de una amplia gama de trastornos. Puede encontrarse en la situación de tener que diagnosticar rápidamente e intervenir sobre lesiones provocadas por el parto, o de reconocer defectos congénitos o enfermedades hereditarias en un neonato. Debe, por otra parte, saber tratar las enfermedades infantiles comunes, las alergias y los trastornos mentales y emotivos.

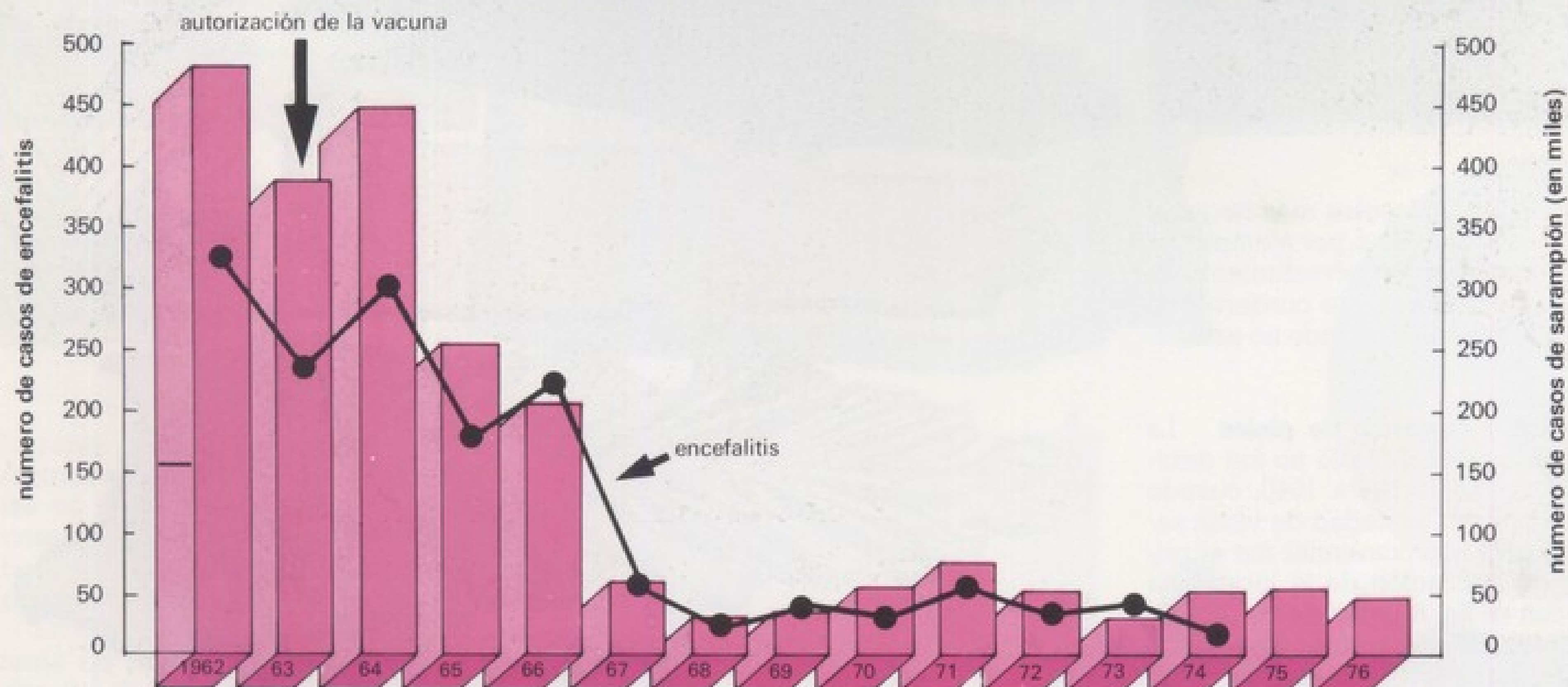
La Pediatría hoy En la actualidad la Pediatría se ocupa de todo aquello que puede afectar al bienestar del niño. Factores importantes son la fisiología, la psicología y el ambiente (condiciones higiénicas, térmicas, etc.). Consecuentemente con la rápida expansión de las funciones de la Pediatría, se han desarrollado otras ramas orientadas a profundizar en las investigaciones y a proporcionar intervenciones aún más especializadas. Se han realizado notables progresos en el campo de la nu-



En la página siguiente, arriba: el estado nutricional del niño influye en su crecimiento y desarrollo, por lo que el conocimiento de las diversas necesidades dietéticas según las edades es determinante para la conservación de la salud. Debajo: en EE UU, antes de 1963, año en el que fue introducida en masa la vacunación contra el sarampión, se declaraban entre 400.000 y 500.000 casos de sarampión. Por otra parte, en la época anterior a la implantación de la vacuna, el sarampión solía derivar en casos de encefalitis con una frecuencia de uno de cada 1.000 casos. Entre 1973 y 1977 han sido detectados 150.000 casos de sarampión, lo que significa una reducción notable. En la fotografía de la izquierda, un pequeño paciente es sometido al test de Shick, que sirve para establecer si un individuo tiene muchas o pocas posibilidades de enfermar de difteria. La prevención de las enfermedades es una de las directrices más importantes a lo largo

NIVELES RECOMENDADOS DE INGESTION DIARIA DE NUTRIENTES: NIÑOS Y NIÑAS DE 1 A 9 AÑOS				
nutrientes	cantidad	1 a 3 años	4 a 6 años	7 a 9 años
proteínas	g	29	42	48
lípidos	g	42	55	65
calorías		1.270	1.680	1.970
Ca	mg	500	500	500
Fe	mg	7	9	9
Mg	mg	150	200	250
Zn	mg	10	10	10
I	mcg	60	60	60
Vit. B_1	mg	0,5	0,7	0,8
Vit. B_2	mg	0,7	0,9	1,1
Vit. PP	mg	8,4	11,1	13
Vit. B_{12}	mcg	0,9	1,5	1,5
Vit. C	mg	40	40	40
Vit. A	mcg	250	300	400
Vit. D	mcg	10	10	2,5

NECESIDADES CALORICAS Y PROTEICAS DIARIAS ENTRE LOS 3 Y LOS 12 MESES DE EDAD					
	edad	peso medio	necesidades calóricas	necesidades proteicas	
niños	menos de 3 meses	4,6 kg	120 cal/kg, total 550 cal/día	2,4 g/kg	11 g/día
niños	3 a 5 meses	6,7 kg	115 cal/kg, total 770 cal/día	1,85 g/kg	12 g/día
niños	6 a 8 meses	8,3 kg	110 cal/kg, total 910 cal/día	2,94 g/kg	24 g/día
niños	9 a 11 meses	9,6 kg	105 cal/kg, total 1.000 cal/día	2,57 g/kg	24 g/día
niñas	menos de 3 meses	4,5 kg	120 cal/kg, total 540 cal/día	2,4 g/kg	11 g/día
niñas	3 a 5 meses	6,4 kg	115 cal/kg, total 740 cal/día	1,85 g/kg	12 g/día
niñas	6 a 8 meses	8,0 kg	110 cal/kg, total 880 cal/día	2,94 g/kg	24 g/día
niñas	9 a 11 meses	9,2 kg	105 cal/kg, total 970 cal/día	2,57 g/kg	24 g/día



de las que se desarrolla la Medicina moderna. Su objetivo es crear en torno al niño una protección no sólo contra los peligros del medio ambiente, sino también contra los efectos negativos del mundo que el propio hombre ha creado.

trición, y la mortalidad infantil ha descendido de modo importante tras la utilización de las vacunas. Actualmente se realizan grandes esfuerzos destinados a mejorar el tratamiento y las técnicas de diagnóstico durante el período prenatal y neonatal. A tales fines se han creado centros de asistencia para la gestante y el recién nacido, intentando también sensibilizar a las poblaciones menos preparadas de la necesidad de someterse a controles periódicos durante el embarazo y de la conveniencia de recibir asistencia médica hospitalaria durante el parto.

Véase **Embarazo; Enfermedad; Infancia; Medicina preventiva; Paperas; Parto; Sarampión; Vacunación**

Peletería

Ya en la era prehistórica el hombre usaba las pieles de los animales que cazaba para resguardarse del rigor invernal. Con el paso de los siglos la utilización de las pieles ha ido adquiriendo distintos significados: desde ser una pura y simple prenda de abrigo hasta convertirse en un símbolo de refinada elegancia.

Las pieles de armiño han constituido durante siglos el símbolo de la realeza; de hecho se empleaban para confeccionar las capas reales. En la India, las pieles eran símbolo de valor y superioridad. Entre los egipcios, los faraones y los sacerdotes se cubrían con pieles de leopardo y león que simbolizaban fuerza y potencia. Durante los últimos tiempos, las pieles de marta, de marta cebellina, de visón y de chinchilla se han convertido en piezas muy cotizadas en la alta peletería, mientras que otras, como las de foca y castor, se aprecian por su duración.

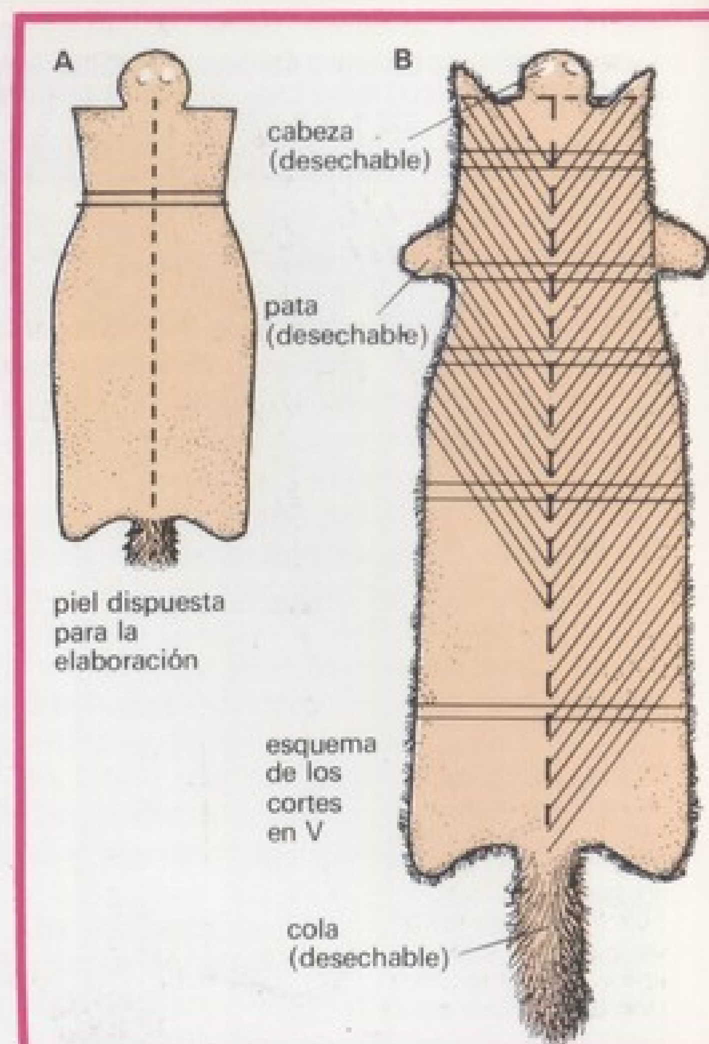
La mayor parte de las pieles que se comercializan actualmente, como las de visón, castor y conejo, tienen dos tipos de pelo: el pelo interno, corto y tupido, más adherido a la piel; y el pelo externo de protección que forma una cobertura más basta, constituida por pelos más largos y rígidos. Algunos animales, por ejemplo los equinos, tienen un único revestimiento de pelo. La lana de oveja y de cordero sólo se considera como piel cuando no está esquilada.

Producción y comercio de pieles La crianza de animales de pelo no fue debidamente reconocida hasta 1940, cuando apareció la primera variedad de visón seleccionado para uso comercial: fue el primer caso de aplicación de la ingeniería genética con tal fin. A pesar de las perfeccionadas técnicas de crianza, solamente los visones, los zorros plateados, las nutrias (o castores de Argentina) y las chinchillas se han criado con éxito en cantidades comerciales.

En Estados Unidos se producen cada año más de 9.000 pieles en criaderos de visón. Tanto las pieles de los animales salvajes cazados como las que se obtienen en los criaderos son enviadas a los mayores centros de subasta, como son Estados Unidos, Canadá, Europa Septentrional y Unión Soviética, donde son compradas por los mayoristas, que a su vez abastecen a los fabricantes.

El primer paso en la elaboración de las pieles de los animales de pelo consiste en un proceso muy parecido al del curtido empleado en la industria del cuero. A ciertas pieles, cuya belleza reside en el pelo interno y no en el revestimiento externo, como las pieles de foca de Alaska, de ratón almizclero o de conejo, se les elimina totalmente el pelo externo de protección. La piel se puede teñir o aclarar con el fin de aumentar su belleza.

Confección Una vez diseñado el modelo, se procede a cortar los patrones, previamente diseñados en cartulina de acuerdo con las características de la piel que se va a utilizar. Así se indica la colocación exacta de las pieles, el número de éstas, y el tratamiento que ese modelo en particular requiere. Seguidamente se seleccionan una por una las pieles y se alinean según su color, su tamaño y los dibujos del pelo, de manera que las mejores pieles se colocan en los puntos que están más a la vista. Posteriormente un cortador elimina los bordes, cuellos y patas de cada piel. El material descartado se recuperará después.



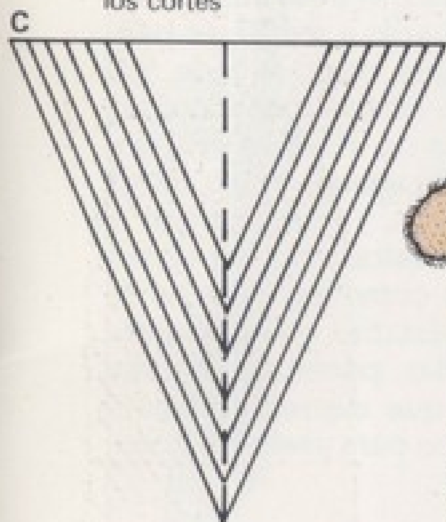




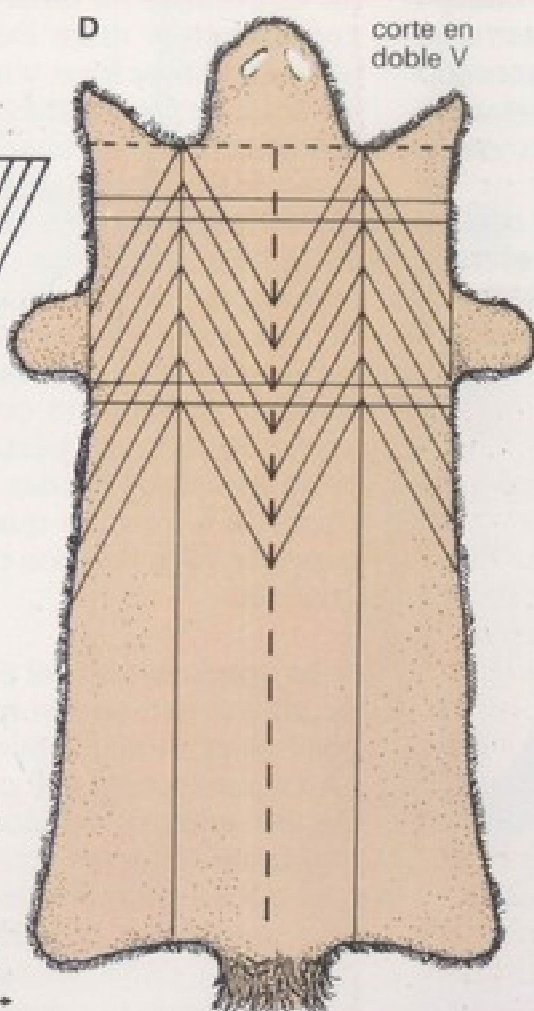
Abajo, pieles de visón, que casi siempre se elaboran mediante la compleja operación de transporte. Se trata de una de las dos operaciones a que se someten las pieles para confeccionar una prenda de aspecto impecable. La alternativa al método de transporte es la yuxtaposición de las pieles para formar un dibujo regular.

En la fotografía de arriba, dispuestas en abanico, varias pieles de visón antes de que se inicie la elaboración para obtener una prenda acabada. Estas pieles ya están curtidas y el peletero durante la confección únicamente tiene que mejorar el grado de asociación de los matices de color (ya muy cuidado para la venta, que se hace en lotes). Son muchas las operaciones que se han realizado sobre la piel antes de que llegue al fabricante de la prenda: desde el curtido normal y la eliminación del pelo más largo (en algunos tipos de pieles) hasta el posible teñido, que constituye uno de los secretos mejor guardados del arte de la peletería.

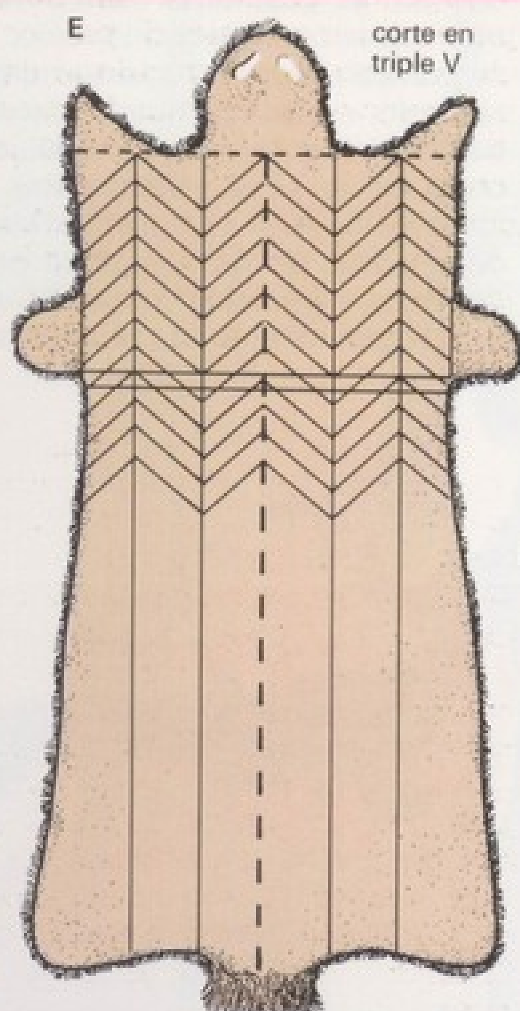
Como sólo pocos animales, como las focas y las ovejas, son lo suficientemente grandes como para poder obtener una prenda a partir de una sola piel, la mayor parte de las prendas se confeccionan con varias pieles de animales más pequeños, como los visones y las nutrias, que previamente han de coserse. Pero antes de proceder al cosido, las pieles tienen que humedecerse y colocarse sobre los contornos del modelo original, dejándolas secar entre 24 y 48 horas bajo un atento control.



dibujo de las V a lo largo de las cuales se efectúan los cortes



corte en doble V



corte en triple V

A, piel de visón que se elaborará con la técnica del transporte. Se perderán la cabeza, las patas y la cola, mientras que el resto de la piel no sólo aparecerá homogénea, sino que incluso podrá → alcanzar las dimensiones requeridas. B, esquema de los cortes en V para el transporte e indicaciones de las áreas que se perderán (las patas posteriores ya se han eliminado). C, dibujo de las V a lo largo de las cuales se efectuarán los cortes a mano o a máquina. Seguidamente la piel se coserá formando un ángulo distinto. D y E, dos pieles de zorro en las cuales el fileteado, es decir, el transporte efectuado introduciendo tiritas de piel de gamuza, se realiza siguiendo el dibujo llamado en doble V (W) o triple V. F, otra forma de cortar y prender una piel, generalmente utilizada con las pieles de zorro o de lobo, es decir, de pelo muy tupido, que tiene como finalidad despoblarla.

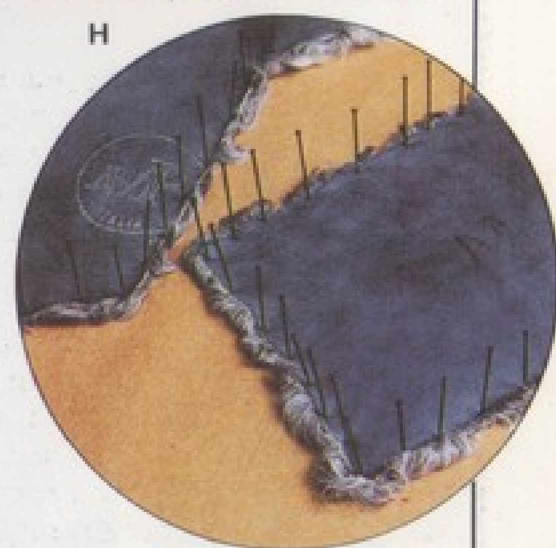








En estas páginas: A, piel de visón por el lado del pelo y por el del cuero; B y C, piel cortada para el transporte; D, transporte realizado; ↓



La razón de este largo proceso de preparación reside en el hecho de que las pieles no se pueden planchar. Después de coserlas, se ponen los corchetes, forros y botones, con lo que la prenda queda dispuesta para la venta.

En estos últimos años ha surgido una toma de conciencia social ante la caza abusiva de que son objeto algunos animales de pelo, como el oso polar y el leopardo, que hoy en día están en vías de extinción. Como consecuencia, en algunos países se han tomado medidas de control, promulgándose leyes que regulan la importación y venta de las pieles de estos animales. Gracias al desarrollo de las pieles sintéticas la demanda de algunas pieles naturales ha empezado a disminuir.

Véase **Animales en peligro de extinción; Confección textil; Cuero y curtido**



↓ E, pieles ensambladas por el lado del cuero; F, última fase de la elaboración antes del acabado; G y H, detalles de la elaboración; I, piel tensada mediante clavos.



Pelo

Desde los escasos pelos híspidos que crecen en torno a la boca de las ballenas (que por otra parte son criaturas prácticamente lampiñas) al espeso pelo de los perros pastores y de los poneys, una gran variedad de tipos de pelo crece sobre la piel de todos los mamíferos. Su tipo y su distribución varían mucho entre las diferentes especies. La mayor parte de los mamíferos tiene distintos tipos de pelo en diferentes partes del cuerpo, con variación en longitud, color, estructura y ondulación. En los seres humanos, por ejemplo, existen notables diferencias entre los pelos del cuero cabelludo, de las cejas, de los brazos y del pubis.

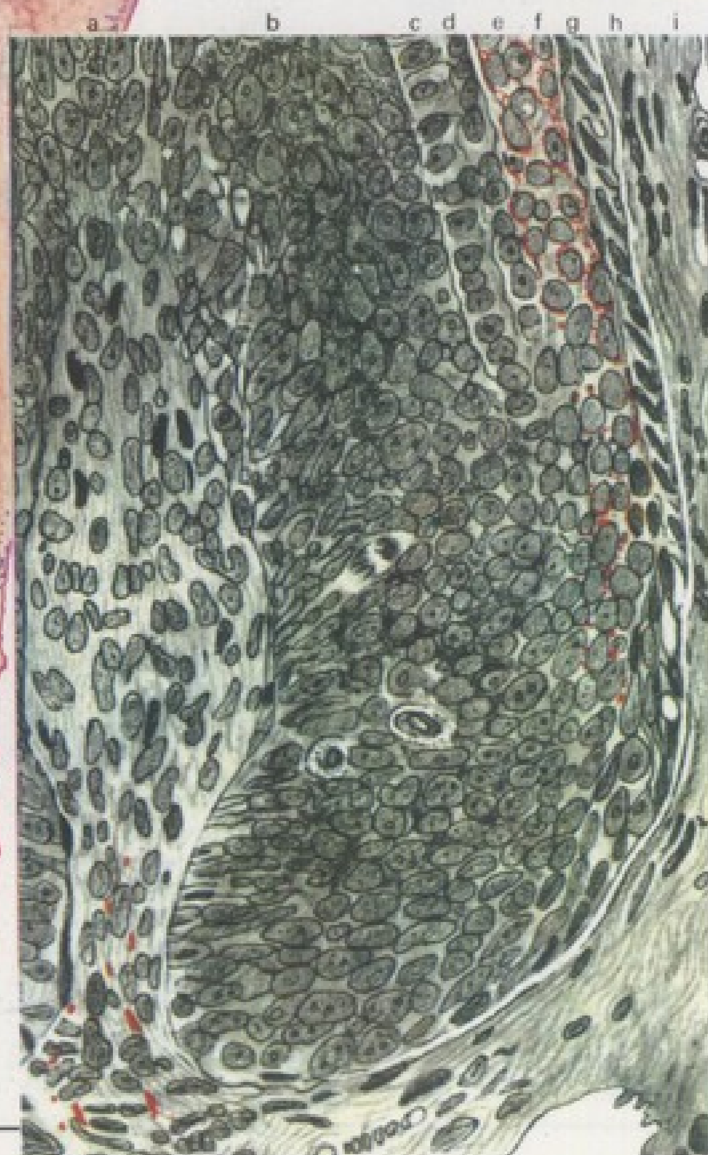
En el hombre, los vestidos han sustituido muchas de las funciones protectoras del pelo, especialmente las de aislamiento y regulación de la temperatura corporal. El hombre no tiene el espeso pelo invernal común entre los animales que habitan en climas fríos, y que mantiene el calor del cuerpo; además, el pelo en el hombre es ineficaz en cuanto a servir de pantalla a los rayos solares, como sucede con el sutil pelaje de las cebras, por ejemplo. Los minúsculos pelos de nuestras orejas y narices, sin embargo, actúan como filtros para el polvo y la arena, y mientras que la pelusa en torno a nuestra boca no es tan sensible al contacto como los bigotes de los gatos, nuestras pestañas, en el momento en que son tocadas, ponen en marcha circuitos nerviosos que cierran automáticamente los párpados para proteger nuestros ojos.

La composición del pelo Al igual que las uñas de los dedos, los pelos están compuestos por una proteína, llamada queratina. La estructura del pelo consiste en un estrato externo incoloro de escamas de queratina (*cutícula*) que rodea un estrato más denso de queratina (*corteza*). La corteza constituye la parte más voluminosa del *tallo* —parte visible que emerge del orificio folicular—, contiene los pigmentos que dan color al pelo (*melanina*) y actúa como estructura de sostén. Los pelos gruesos tienen también un núcleo esponjoso (*médula*) que les confiere flexibilidad. Las glándulas sebáceas, repartidas por toda la superficie cutánea, exceptuando las palmas de las manos y las plantas de los pies, producen una secreción oleosa (sebo) que lubrifica el tallo piloso y la superficie cutánea.

Cada pelo se aloja en una depresión de la piel llamada *folículo piloso*, invaginación tubular que se extiende hacia los estratos inferiores de la piel (*dermis*), donde termina con un engrosamiento en for-

estrato liso
estrato córneo
estrato de Malpighi
músculo erector del pelo
estrato reticular
glándula sebácea
vaina externa de la raíz
estrato subcutáneo
membrana vítrea
bulbo
papila

El pelo es una estructura compleja. En la ilustración superior, que muestra la imagen obtenida a través de un microscopio óptico, puede observarse abajo la raíz y las membranas que la recubren; en el extremo inferior, el bulbo en el que se encuentra la papila; en el centro y arriba a la izquierda, el músculo que actúa como → erector y las glándulas sebáceas a él adyacentes, cuyo vaciamiento está provocado por el propio músculo erector. La sección que aparece en la microfotografía atraviesa la piel y se introduce en el estrato subcutáneo. Inmediatamente al lado aparece una sección al microscopio óptico, muy aumentada, del bulbo y de la papila. La sección es longitudinal (igual que la de la microfotografía de mayor tamaño): a) médula; b) corteza; c) cutícula; d) vaina interna de la raíz; e) estrato de Huxley; f) estrato de Henle; g) vaina externa de la raíz; h) membrana vítrea; i) vaina del folículo.



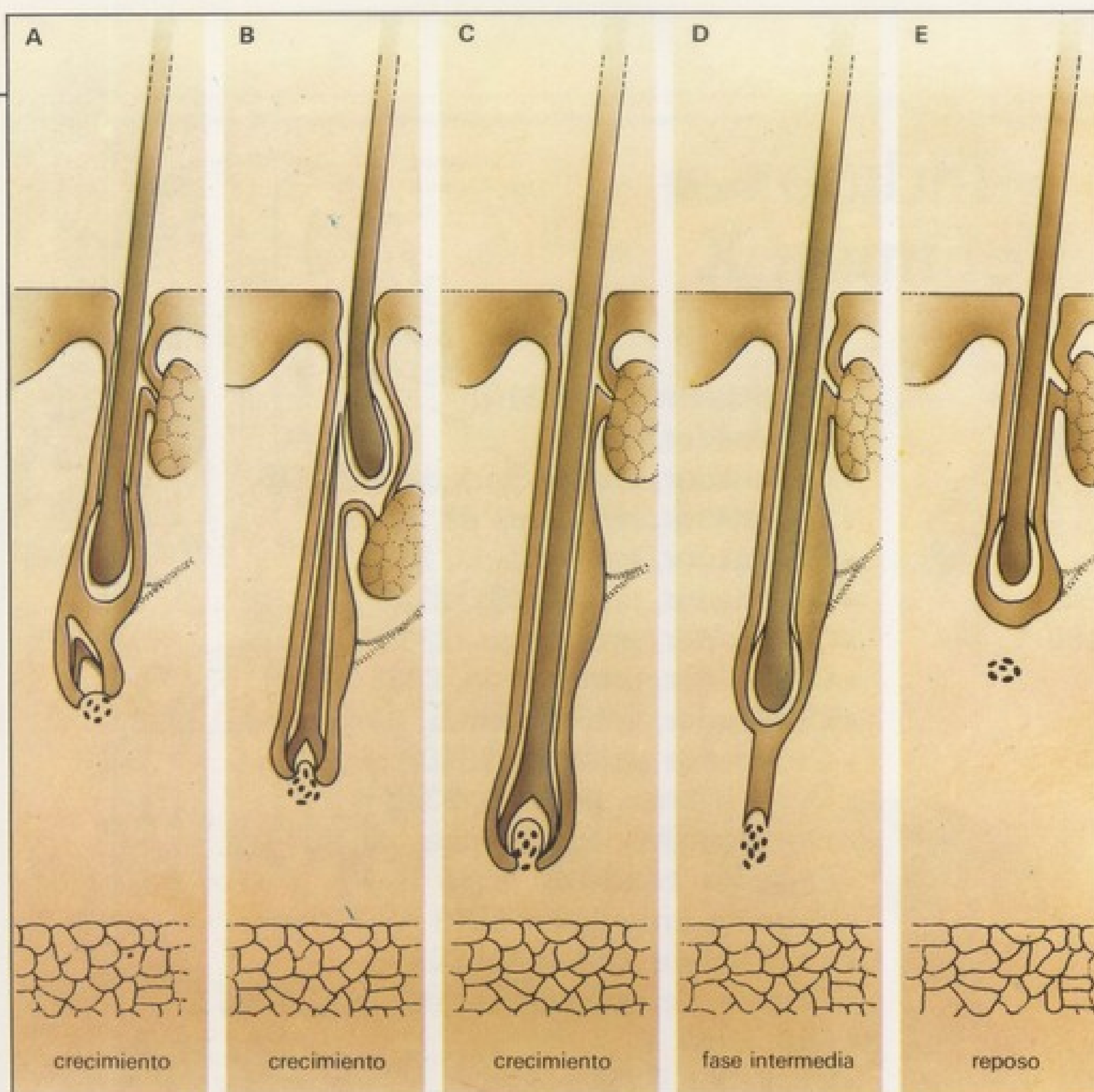
hormonales, asegura que el pelo no se caiga todo de una sola vez. Existen, no obstante, algunos animales, como el zorro ártico, que mudan el pelo completamente dos veces al año, modificando su color según la estación.

El color del pelo está determinado por la cantidad de pequeños gránulos de melanina (pigmento rojo, negro o amarillo), que se incorporan a la corteza antes de que sus células se endurezcan. Las enfermedades, el envejecimiento o el estrés pueden disminuir la secreción del pigmento, haciendo que el pelo se vuelva gris o blanco.

Existen dos clases principales de melanina: la eumelanina, responsable del color castaño y negro; la feomelanina, responsable del color amarillo (rubio) y rojo. Ambas sustancias están producidas por la acción de un enzima denominado tirosinasa. En los animales hay dos tipos fundamentales de pelo: el de cobertura, largo y ralo, muy pigmentado, y el de lana, más corto y flexible. Este, generalmente asociado en mechones, asegura al máximo el aislamiento térmico.

Un tipo de pelos modificados, duros y con el tallo muy queratinizado son los acúleos del puerco espín, erizo, etc.; otro tipo son las sedas, mucho menos robustas; parecidas a éstas son las vibrisas, pelos largos y fuertes que aparecen aislados o formando grupos, que están en contacto con numerosas terminaciones nerviosas y tienen función táctil, como son, por ejemplo, los bigotes en los felinos.

Véase **Desodorante; Glándula; Piel**



Todos los tipos de pelo están sujetos a una actividad cíclica que se subdivide en tres fases: primera fase o fase de crecimiento; segunda fase o fase intermedia; tercera fase o fase de reposo. En A) la papila entra en contacto con las células subyacentes y comienza el desarrollo de un nuevo pelo mientras que el antiguo todavía está en su sitio. En B), también durante la fase de crecimiento, el pelo nuevo se dirige hacia la superficie de la piel y se protege con el pelo viejo; el músculo erector actúa ya sobre el pelo nuevo que está a punto de surgir. En C) fase de crecimiento maduro: el pelo viejo ha caído y el nuevo lo ha sustituido por completo, la papila ha descendido hacia abajo. En D) fase intermedia: el folículo se extiende hacia abajo; en E) fase de reposo; el músculo erector actúa ahora en la base del pelo.

ma de bulbo. El bulbo recubre la *papila* a partir de la cual tiene lugar el crecimiento del pelo gracias a una particular asociación de células dispuestas a su alrededor. La papila folicular es muy rica en vasos sanguíneos y nervios. Las células que circundan la papila se multiplican, se endurecen y mueren (proceso de queratinización), formando la corteza y la cutícula. La porción del pelo que va desde el bulbo hasta la superficie de la piel se llama *raíz*. Insertadas en las paredes exteriores de los folículos se observan bandas de músculo liso involuntario, cuya contracción por la emoción o el frío produce la llamada "piel de gallina".

Crecimiento y madurez El pelo no crece continuamente sino que hay fases de crecimiento activo y de reposo. En el hombre crece a un ritmo que va de 13 a 25 mm al mes, alcanzando la madurez en pocas semanas (pelos de los brazos y de las piernas) o en el transcurso de algunos años (cabellos).

Una vez alcanzada la madurez, comienza a formarse un nuevo pelo, que empuja al viejo hacia fuera del folículo. Este proceso que se produce de un modo escalonado, debido probablemente a estímulos



A la izquierda, cabello visto al microscopio de barrido electrónico. Se puede apreciar la estructura en escamas que también resulta visible, aunque con menor precisión, con un microscopio óptico. Algunas de las funciones del pelo, por ejemplo el mimetismo, son potenciadas por sus características de renovación. Algunos mamíferos de pelo largo pueden tener un tipo de pelo en el verano y otro en el invierno. Efectivamente, la fase de crecimiento puede durar desde algunos meses a algunos años; la intermedia de dos a cuatro semanas; y la de reposo algunos meses. Al final de esta fase es cuando se inicia el nuevo ciclo. Además de proteger de los cambios de temperatura, los pelos, cuando forman una capa algo espesa, pueden actuar amortiguando los golpes.

Indice
Volumen X

